



# IV Congreso EECN

## Edificios Energía Casi Nula

Madrid, 13-14 Diciembre 2017

### LIBRO DE COMUNICACIONES Y PROYECTOS

ORGANIZA:



GRUPOTECMARED



**CONSTRUIBLE**  
Todo Sobre Construcción Sostenible

APOYO INSTITUCIONAL:





**IV Congreso EECN**  
**Edificios Energía Casi Nula**  
**Madrid, 13-14 Diciembre 2017**

**LIBRO DE COMUNICACIONES Y PROYECTOS**

**IV Congreso Edificios Energía Casi Nula**  
**13-14 Diciembre 2017**

Organizado por:



**GRUPOTECMARED**



Editado por:  
Grupo Tecma Red S.L.  
C/ Jorge Juan 31, 1º izqda.  
28001 Madrid, España  
Tel: (+34) 91 577 98 88

Email: [info@grupotecmared.es](mailto:info@grupotecmared.es)  
Web: [www.grupotecmared.es](http://www.grupotecmared.es)

ISBN: 9781973163398  
Copyright: © 2017 Grupo Tecma Red S.L.

Todos los derechos reservados por Grupo Tecma Red S.L. Queda prohibida la reproducción total o parcial de todos los contenidos de este libro bajo cualquier método incluidos el tratamiento digital sin la previa y expresa autorización por escrito de Grupo Tecma Red S.L.

## INTRODUCCIÓN - GRUPO TECMA RED

Como ya os anunciábamos al terminar el III Congreso de Edificios Energía Casi Nula en 2016, esta cuarta edición presenta novedades en cuanto a su formato y además se celebra por primera vez con un intervalo de tiempo de un año respecto a la anterior. Cada vez estamos más cerca del objetivo a cumplir en 2018 y 2020, y eso se nota en las cifras de participación, la implicación de la Administración y la colaboración entusiasta del sector en el evento que hoy nos ocupa, demostrando que el concepto de Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo está ya alcanzando su madurez en nuestro país.

El IV Congreso Edificios Energía Casi Nula que se celebra los días 13 y 14 de diciembre, en La N@ve del Ayuntamiento de Madrid, está organizado por Grupo Tecma Red y Ministerio de Fomento, a través de su Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, contando con el Apoyo Institucional del Ayuntamiento de Madrid, el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (a través de la Oficina Española de Cambio Climático), el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, y el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (a través del IDAE). Agradecer de nuevo a todos ellos su generosa colaboración en el éxito de este Congreso, ya consolidado como una referencia para responder a la creciente demanda de información y conocimiento sobre los edificios de alta eficiencia energética en España.

En esta ocasión, el Programa del Congreso se ha estructurado alrededor de hitos importantes, como la Sesión Magistral introductoria del Ministerio de Fomento, a través de su Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, que describirá en detalle la modificación del DB Ahorro Energía del Código Técnico de la Edificación, que será aprobado a mediados del año que viene para cumplir los requerimientos de los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo a partir de 31 de diciembre 2018.

También destacar que, en este IV Congreso Edificios Energía Casi Nula, hemos querido aumentar el espacio para el debate con la organización de cuatro Mesas Redondas centradas en diversos aspectos estratégicos para el desarrollo y fomento de los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo en el momento actual, como la "Promoción Inmobiliaria Residencial de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. Retos y Oportunidades para el sector en España", la "Formación, Capacitación y Sensibilización imprescindibles para conseguir los objetivos EECN", el "Confort, Salud y Calidad Interior en los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo" y el papel de la "Edificación y Ciudad en el marco de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética".

Lo anterior se complementa con 20 Ponencias Orales, seleccionadas por el Comité Técnico de entre las 90 propuestas finales recibidas en el llamamiento de Comunicaciones y Proyectos EECN. De ellas, 8 mostrarán Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo que se encuentran en fase obtención licencia, en obra o edificios ya construidos, tanto en obra nueva como en rehabilitación, esto último se introduce como novedad en esta edición para fomentar el aspecto práctico del evento. Las otras 12 Ponencias Orales están relacionadas con las áreas temáticas del Congreso que son: Iniciativas para fomentar los EECN; Diseño y Soluciones Arquitectónicas; Soluciones Constructivas, Sistemas y Tecnologías integrables; Integración de Energías Renovables in situ o en el entorno del Edificio; Rehabilitación de Edificios; Planificación y Regeneración Urbana; y Uso, Gestión y Mantenimiento.

Finalmente, reforzando el Programa presencial, el Libro de Comunicaciones y Proyectos EECN del Congreso, que se entrega a todos los congresistas, incluye todas las propuestas seleccionadas difundiendo experiencias sobre los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo en nuestro entorno. Todas ellas, serán también publicadas en formato digital a través del Portal CONSTRUIBLE una vez celebrado el evento.

De todos es conocido que el Programa del Congreso se define a partir de un llamamiento a la presentación de propuestas por parte de todos los actores del sector. Destacar que en este 2017 se han recibido 134 propuestas, 39 de ellas relativas a Proyectos, lo que supone un 15% más que en la tercera edición de 2016, estos números dan una idea de la gran actividad desarrollada en el último año en relación a los EECN. Todo este material ha sido el objeto del trabajo de valoración del Comité Técnico del IV Congreso Edificios Energía Casi Nula. Un Comité Técnico que está formado por más de 40 profesionales expertos en Eficiencia Energética en la Edificación de diversos perfiles y con amplia experiencia en cada una de las áreas temáticas que aborda el evento, contando con representantes de: Ministerio de Fomento, IDAE, OECC, Ayuntamiento Madrid, FEMP, CIEMAT, CDTI, INCASOL, IETcc, CSCAE, CGCOII, CGATE, CICCIP, CAFMadrid, AVS, CENER, CARTIF, ATECYR, IFMA ESPAÑA, CEPCO, ANDIMAT, ASEFAVE, AFEC, CONAIF,

AEDICI, Fundación Laboral de la Construcción, IVE, GBCE, BREEAM ES, ASA, CEDOM, AETIR, CECU, WWF España, ACA y Grupo Tecma Red.

Por otro lado, y no menos importante, seguimos sumando entidades, tanto del ámbito público como del sector privado, que prestan su respaldo al Congreso.

En este 2017, recibimos de nuevo el apoyo del sector con cerca de 80 colaboradores: A3e, ACA, ADHAC, AEA, AECCTI, AEDICI, AEDIP, AETIR, AFEC, AFELMA, AFME, AHK, AIPEX, AISLA, AMI, ANAIP, ANAPE, ANDIMAT, ANERR, ANESE, ANFAPA, ANILED, ASA, ASEFAVE, ASHRAE Spain Chapter, ASIT, ASPRIMA, ATECYR, AUS, Avebiom, AVS, BREEAM ES, BuildingSMART Spanish Chapter, CARTIF, Cátedra UNESCO Ciclo Vida y Cambio Climático, CDTI, CECU, CEDOM, CEEC, CENER, CEPCO, CGCOII, CICCOP, CIRCE, CNI, COAM, COIIM, CAF MADRID, CGATE, CIEMAT, COGEN ESPAÑA, CONAIF, CONSTRUCTION21, CSCAE, COIT, COGITT/AEGITT, DOMOTYS, ENACE, EFENAR, EMVS, ENERAGEN, ENERGYLAB, EURECAT, F2E, FECOTEL, FENIE, FENITEL, GBCE, HISPALYT, IFMA, IMDEA Energía, INNOVARCILLA, INST. CC. EDUARDO TORROJA, IVE, IPUR, IREC, ITH, Fundación LA CASA QUE AHORRA, Asociación KNX, LEITAT Technological Center, Madrid Network, MATERFAD, PEP, SECARTYS, SMARTLIVINGPLAT, TECNALIA, UNEF, WIRES y WWF.

Especialmente destacable también la relevante participación empresarial, con la presencia de compañías líderes en sectores relacionados con la eficiencia energética en la edificación, y cuyo principal objetivo es contribuir a que los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo sean una realidad viable gracias a sus soluciones y servicios:

- Patrocinio Oro: BAXI, Kömmerling, LG Electronics, Saint Gobain, Siber Ventilación y Zehnder
- Patrocinio Plata: Alucoil, Beckhoff Automation, Cype, Knauf Insulation, LafargeHolcim, Niessen, Saunier Duval, Sika, Soudal, Ursa y Vaillant
- Patrocinio Bronce: KNX Spain, Madrid Subterra, Mitsubishi Electric y Sedigas

Todo lo expuesto anteriormente demuestra que el Congreso Edificios Energía Casi Nula se ha convertido en una cita imprescindible y, modestamente, estamos enormemente satisfechos de haber contribuido a un cambio de modelo en el sector de la Arquitectura y la Edificación en España.

Gracias a los miles de profesionales que nos han acompañado en esta iniciativa durante todos estos años. Aunque como todos sabemos, esto no acaba aquí, si no que es sólo el comienzo. Por ello, seguimos trabajando para consolidar todo lo conseguido y os esperamos de nuevo en el V Congreso Edificios Energía Casi Nula que se celebrará en 2018.

Madrid, Diciembre 2017

**Inés Leal**

Arquitecto

Directora IV Congreso Edificios Energía Casi Nula

## INTRODUCCIÓN - MINISTERIO DE FOMENTO

Es una satisfacción comprobar como el Congreso de Edificios de Energía Casi Nula, que celebra ya su cuarta edición, se ha consolidado como el foro de referencia para que el sector pueda intercambiar sus experiencias y logros en esta materia. En estas cuatro ediciones hemos podido ver la evolución desde unas inciertas primeras propuestas a unas soluciones y realidades contrastadas. Tanto los valores mínimos de consumo de energía alcanzados como la amplitud y variedad de propuestas demuestran que el sector tiene soluciones técnicas suficientes para dar respuesta a las futuras exigencias reglamentarias. Lo que se tiene que conseguir con la actualización del Documento Básico, que se está ultimando, es generalizar esa nueva forma de construir.

Las necesidades nacionales y los compromisos internacionales, como los acuerdos de París, obligan a España a realizar una política ambiciosa en materia de energía y sostenibilidad. La futura Ley de Cambio Climático y Transición Energética y la Estrategia de Economía Circular que actualmente prepara el Gobierno, serán dos piezas fundamentales que marcarán la evolución hacia una economía baja en carbono, acorde con los objetivos de la Unión Europea para 2050. La importancia del sector de la edificación y su peso específico en el consumo energético global justifican el desarrollo de medidas específicas, tanto en el ámbito normativo, como en el de la política de ayudas y el de la concienciación de la sociedad, que ya se están desarrollando actualmente.

La reducción del consumo energético en la edificación y el incremento en la utilización de fuentes de energía renovables son las vías más adecuadas para garantizar la viabilidad del sistema. Pero también, pensando en los usuarios, es necesario que en los nuevos edificios y en los edificios que se rehabiliten se alcancen elevados niveles de eficiencia energética, de forma que se reduzcan los consumos necesarios para mantener el edificio en condiciones adecuadas de habitabilidad, y se limite la vulnerabilidad de las personas frente a situaciones críticas como pueden ser la elevación brusca de los precios de la energía.

La propuesta de modificación del Documento Básico DB HE de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, atiende a la obligación, marcada por la Directiva, de revisión periódica cada cinco años de las exigencias de eficiencia energética. Asimismo, dicha propuesta supondrá la actualización de la definición de edificio de consumo de energía casi nulo (EECN) que deberán cumplir los edificios tras su aprobación.

Querría terminar celebrando el éxito seguro de esta cuarta edición del Congreso, reconocer la gran labor desarrollada por el Grupo Tecma Red y agradecer a todos los patrocinadores y colaboradores su apoyo e interés, esperando que cumplan, como en ocasiones anteriores, todas las expectativas generadas.

Madrid, Diciembre 2017

**Antonio Aguilar Mediavilla**

Director General de Arquitectura, Vivienda y Suelo  
Ministerio Fomento

## MIEMBROS COMITÉ TÉCNICO

- **Luis Vega**, Coordinador Unidad Edificación Sostenible, Subdirección General Arquitectura y Edificación, Ministerio de Fomento
- **Cristina Colomo**, Jefe Área Habitabilidad, Subdirección General de Arquitectura y Edificación de Fomento
- **Eduardo de Santiago**, Consejero Técnico, Subdirección General Urbanismo, Ministerio de Fomento
- **Aitor Domínguez**, Técnico Proyectos, Departamento Doméstico y Edificios, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE
- **Eduardo González**, Subdirector General Coordinación Acciones frente al Cambio Climático, Oficina Española Cambio Climático, OECC
- **Ramón López**, Jefe Servicio, Oficina Española Cambio Climático, OECC
- **Pilar Pereda**, Asesora Concejalía Desarrollo Urbano Sostenible, Ayuntamiento de Madrid
- **Marta Rodríguez**, Secretaria Comisión Urbanismo, Vivienda y Patrimonio Histórico, Federación Española de Municipios y Provincias, FEMP
- **Rosario Heras**, Jefa Unidad Eficiencia Energética en Edificación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT
- **José Antonio Ferrer**, Investigador Unidad Eficiencia Energética en Edificación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT
- **Pilar González**, Punto Nacional Contacto del Programa Energía Horizonte 2020, Centro Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI
- **M<sup>a</sup> Luisa Revilla**, Representante Nacional en Comité, Programa Energía Horizonte 2020, Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, CDTI
- **Fernando Aranda**, Coordinación Técnica, Innovación y Eficiencia Energética, INCASOL, Generalitat Cataluña
- **José Antonio Tenorio**, Instituto Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc-CSIC
- **Gloria Gómez**, Consejo Superior Colegios Arquitectos de España, CSCAE
- **Juan Layda**, Consejo General Colegios Oficiales Ingenieros Industriales, CGCOII
- **Juan López-Asiain**, Subdirector Gabinete Técnico, Consejo General de Arquitectura Técnica de España, CGATE
- **Luis Irastorza**, Colegio Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, CICCPC
- **Benjamín Eceiza**, Secretario, Colegio Profesional Administradores Fincas Madrid, CAFMadrid
- **Gonzalo Fernández**, Miembro Comisión Ejecutiva, Asociación Promotores Públicos Vivienda y Suelo, AVS
- **Florencio Manteca**, Director Departamento Energía Edificación, Centro Nacional Energías Renovables, CENER
- **Miguel Angel García**, Coordinador Proyectos, División Energía, Centro Tecnológico CARTIF
- **Miguel Ángel Llopis**, Presidente, Asociación Técnica Española Climatización y Refrigeración, ATECYR
- **Hernando Gutiérrez**, Gerente, Sociedad Española Facility Management, IFMA ESPAÑA
- **Luis Rodulfo**, Director General, Conf. Española Asociaciones Fabricantes Productos Construcción, CEPCCO
- **Yago Massó**, Director Técnico, Asociación Nacional Fabricantes Materiales Aislantes, ANDIMAT
- **Pablo Martín**, Director, Asociación Española Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas, ASEFAVE
- **Cecilia Salamanca**, Responsable Departamento Técnico, Asociación Fabricantes Equipos Climatización, AFEC
- **Ana María García**, Directora General, Confederación Nacional Asociaciones de Instaladores y Fluidos, CONAIF
- **Rafael Úrculo**, Vocal Junta Directiva, Asoc. Española Ingenierías e Ingenieros Consultores de Instalaciones, AEDICI
- **Ana González**, Responsable Recursos Didácticos, Fundación Laboral de la Construcción
- **Begoña Serrano**, Directora, Instituto Valenciano de la Edificación, IVE
- **Dolores Huerta**, Secretaria Técnica, Green Building Council España, GBCE
- **Oscar Martínez**, Director, BREEAM ES
- **Miguel Ángel Díaz Camacho**, Presidente, Asociación Sostenibilidad y Arquitectura, ASA
- **Oscar Querol**, Director, Asociación Española Domótica e Inmótica, CEDOM
- **Sergio Melgosa**, Presidente, Asociación Española Termografía, AETIR
- **Ana Etchenique**, Vicepresidenta Confederación Consumidores y Usuarios CECU
- **Georgios Tragopoulos**, Energy Efficiency Officer, WWF España
- **José Luis López**, Coordinador Proyectos, Asociación Ciencias Ambientales, ACA
- **Stefan Junstrand**, Director General, Grupo Tecma Red
- **Inés Leal**, Directora del IV Congreso de Edificios Energía casi Nula, Grupo Tecma Red

# ÍNDICE

## INICIATIVAS PARA FOMENTAR LOS EECN:

<b>ESTANQUEIDAD EN GRANDES EDIFICIOS - AMPLIACIÓN DE LA NAVE DE AMAZON</b>	<b>1</b>
<i>Sergio Melgosa Revillas</i> Ebuilding, Edificios Eficientes	
<b>ESTRATEGIA DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID PARA FOMENTAR LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA</b>	<b>7</b>
<i>Pilar Pereda Suquet</i> Ayuntamiento de Madrid	
<b>EL CONFORT EN EL CENTRO DE LA ESTRATEGIA PARA FOMENTO DE LOS EECN: CONCEPTO MULTI-CONFORT</b>	<b>13</b>
<i>Adolfo Somolinos</i> Saint-Gobain	
<b>APRENDIENDO DE LA PRIMERA GENERACIÓN DE EECN - CASOS DE ESTUDIO DE EDIFICIOS CORPORATIVOS</b>	<b>19</b>
<i>Xabier Barrutieta Basurko</i> Universidad País Vasco UPV/EHU y Barru Arkitektura	
<b>ESTRATEGIAS MUNICIPALES INTEGRALES CON CRITERIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO – APLICACIÓN EN BADIA DEL VALLÈS, BARCELONA</b>	<b>24</b>
<i>Ana Romero Calix, Gil Lladó Morales y Julia Hereza Atienza</i> Àrea Metropolitana de Barcelona	
<b>LOS EDIFICIOS PASSIVHAUS CERTIFICADOS, CONSTRUYENDO EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA EN ESPAÑA DESDE EL 2008</b>	<b>30</b>
<i>Ángela Sisternes García, Adelina Uriarte Gonzalo-Bilbao y Juan Manuel Castaño</i> Plataforma de Edificación Passivhaus	
<b>EL GRUPO E3CN: UNA INICIATIVA COLABORATIVA PARA EL CRECIMIENTO</b>	<b>36</b>
<i>Gonzalo Alarcía Fernández, Estíbaliz González de la Serna, Silvia Martínez San Segundo, Jesús Menéndez Amigo, José Santos Torres y Julia Vicente Gómez</i> G-33 ARQUITECTURA Y URBANISMO, MEDGÓN, COANDA PASSIVHAUS, ZERO ENERGY, JST ARQUITECTURA Y CARTIF	
<b>IESD – HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN REHABILITACIONES ENERGÉTICAS DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES</b>	<b>41</b>
<i>Konstantinos Karpouropoulos y Eva Crespo Sánchez</i> Fundació CTM Centre Tecnològic y EURECAT-Centro Tecnológico de Cataluña	
<b>EDIFICIO DEMO NZEB EN BARCELONA CON AEROTERMIA, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y TECHO RADIANTE</b>	<b>46</b>
<i>Alberto Jiménez y Vicente Abarca</i> Baxi Calefacción	
<b>NUEVA METODOLOGÍA PARA FOMENTAR MEJORAS EN EECN</b>	<b>52</b>
<i>Ana Picallo Pérez, Juan María Hidalgo Betanzos y José María Sala Lizarraga</i> Grupo de investigación ENEDI, UPV/EHU y LCCE GV	
<b>MÁS ALLÁ DE LA DEFINICIÓN EECN, PARÁMETROS INTRÍNSECOS EN LOS EDIFICIOS</b>	<b>58</b>
<i>Silvia Herranz García</i> URSA Ibérica Aislantes	
<b>ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS DE LOS PAÍSES DE NUESTRO ENTORNO PARA ALCANZAR EECN</b>	<b>62</b>
<i>Yago Massó Moreu</i> ANDIMAT (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes)	
<b>DISEÑO Y SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS:</b>	
<b>DISEÑO DE EECN PARA LAS CONDICIONES PARTICULARES DE CANARIAS</b>	<b>68</b>
<i>Eduardo Martín del Toro</i> Universidad de las Palmas de Gran Canaria	
<b>DE LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO A LOS EDIFICIOS CONFORTABLES: PRIMERA VIVIENDA INDUSTRIALIZADA CON CERTIFICADO PASSIVHAUS Y UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SEGÚN ISO 14025</b>	<b>74</b>
<i>Santiago Muelas, Álvaro Martínez y Nicolás Bermejo Presa</i> American Building System (ABS) y SAINT-GOBAIN ISOVER	
<b>HERRAMIENTAS AVANZADAS PARA EL DISEÑO DE EECN, VERIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL CTE Y LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS CON ENERGY PLUS</b>	<b>80</b>
<i>Miguel Ángel Pascual Buisan y Nicolás Bermejo Presa</i> EFINOVATIC y SAINT-GOBAIN ISOVER	
<b>ROMPIENDO MITOS: “SI AUMENTAMOS LOS HUECOS AL NORTE, AUMENTA LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN”</b>	<b>85</b>
<i>Miguel Ángel Pascual Buisan</i> Universidad Pública de Navarra	



<b>ESTÁNDAR PASSIVHAUS, COMO MÉTODO DE DISEÑO, CÁLCULO Y EJECUCIÓN DE LOS EDIFICIOS CASI NULOS</b>	<b>90</b>
<i>Vanesa Ezquerra</i> Vanesa Ezquerra Arquitectura Passivhaus	
<b>POTENCIAL DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN NATURAL PASIVA EN LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO - PROYECTO PILOTO DE UN COLEGIO EN ANDALUCÍA</b>	<b>96</b>
<i>Maite Gil Báez, Carmen Roldán Vendrell, Ángela Barrios Padura y Marta Molina Huelva</i> Agencia Pública Andaluza de Educación (APAE), Consejería de Educación Universidad de Sevilla	
<b>INFLUENCIA DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE EDIFICIOS DE OFICINAS, ANÁLISIS DE CINCO CASOS PIONEROS EN EL REINO UNIDO Y SUIZA</b>	<b>102</b>
<i>Rafael Alonso Candau</i> ATMOS lab	
<b>ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA UN EECN EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO: EL AULARIO INDUVA DE VALLADOLID</b>	<b>108</b>
<i>Francisco Valbuena García y María Jesús González Díaz</i> Universidad de Valladolid y Torre de Comares Arquitectos	
<b>EXPLORACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE EDIFICIOS DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO USUALES EN EL ECUADOR</b>	<b>114</b>
<i>Marina Pérez-Pérez y Andrea Parra</i> Universidad Tecnológica Indoamérica	
<b>PERCEPCIÓN DEL CONFORT TÉRMICO Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CLIMA EN ECUADOR</b>	<b>119</b>
<i>Marina Pérez-Pérez y Andrea Parra</i> Universidad Tecnológica Indoamérica	
<b>LA EXPLORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO EFICIENTES COMO PARTE DEL DISEÑO INTEGRADOR EN UN EDIFICIO EECN EN LA CIUDAD DE LUGO</b>	<b>122</b>
<i>Gerardo Rodríguez Vázquez, Diego Quiñoy Peña y Soraya López García</i> EnergyLab y Passiv Haus Institut	
<b>SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS, SISTEMAS Y TECNOLOGÍAS INTEGRABLES:</b>	
<b>KEEP COOL AND CARRY ON: CLIMATIZACIÓN CON TECHO RADIANTE EN UNA OBRA DE REHABILITACIÓN ENERPHIT</b>	<b>128</b>
<i>Oliver Style y Vicenç Fulcarà</i> Progetic	
<b>TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN PARA LOS EECN EN LOS EDIFICIOS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>132</b>
<i>Alberto Jiménez y Héctor Noguera</i> Baxi Calefacción	
<b>AHORRO EN COSTES DE CLIMATIZACIÓN MEDIANTE PINTURA TERMO-AISLANTE PARA CUBIERTAS</b>	<b>138</b>
<i>Joan Ferré Sáinz de la Maza</i> Nanoavant	
<b>ISOBIO: TRAZANDO LA VÍA PARA EL DESARROLLO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN NATURALES A GRAN ESCALA</b>	<b>141</b>
<i>Oliver Style, Bega Clavero Bosque, Mike Lawrence y Patricio Moreno</i> Progetic, University of Bath, Acciona	
<b>ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UN ESPACIO COMERCIAL PLANTA CALLE</b>	<b>147</b>
<i>Belén Puente Casado</i> HIPLUS AIRE ACONDICIONADO	
<b>TECNOLOGÍA THERMOPILE: UN NUEVO CONCEPTO APLICADO A LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LOS EECN - EFICIENCIA ENERGÉTICA E HIGROTÉRMICA</b>	<b>152</b>
<i>Cristóbal López, José Antonio Gutiérrez, Ana Belén Pabón y José Luis Rodríguez Correas</i> KOOLNOVA y KOOLAIR	
<b>SOLUCIONES INNOVADORAS DE FACHADAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN CON PCMS PARA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO</b>	<b>158</b>
<i>José Sánchez Ramos, M. Carmen Guerrero Delgado, Servando Álvarez Domínguez, Lidia Navarro Farre, Luisa F. Cabeza, Lorenzo Olivarri y José Antonio Tenorio Rios</i> Universidad de Sevilla, Universidad de Lleida e Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)	
<b>COMPORTAMIENTO DINÁMICO ESTIVAL DE UN EECN DE ALTA INERCIA TÉRMICA EN CLIMA D3</b>	<b>164</b>
<i>Roberto Higuero Artigas</i> SEAS	
<b>EL RETO: MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL SECTOR HOTELERO</b>	<b>170</b>
<i>José Antonio Díaz</i> Daikin AC Spain	
<b>ESTRUCTURAS QUE RESPIRAN, CÓMO REDUCIR UN 20% EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS INTEGRANDO LA ESTRUCTURA Y LAS INSTALACIONES EN EECN</b>	<b>176</b>
<i>Alberto Alarcón García</i> ETSAG (UAH)	

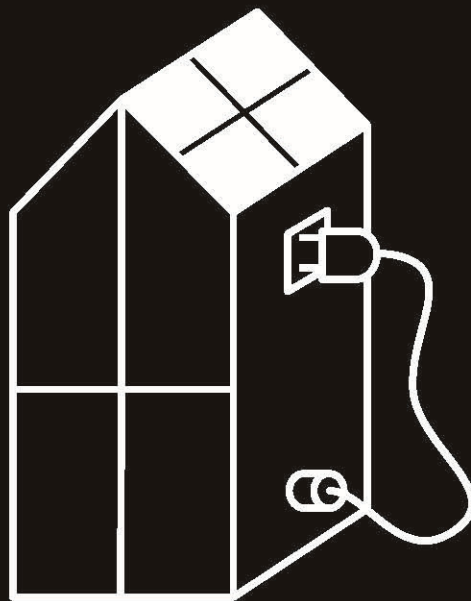
<b>PRESTACIONES TÉRMICAS DE LOS MUROS CON BLOQUES CERÁMICOS Y SU USO EN CONSTRUCCIONES PASSIVHAUS</b>	<b>182</b>
<i>Elena Santiago Monedero y Ana Ribas Sangüesa</i>	
Consorcio Termoarcilla	
<b>ALGORITMO DE CONTROL DE PERSIANAS VENECIANAS Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA TÉRMICA DE UNA VIVIENDA</b>	<b>188</b>
<i>Francisco Fernández Hernández, José Miguel Peña Suárez y Mari Carmen González Muriano</i>	
Airzone	
<b>INCIDENCIA DEL CONTROL SOLAR Y APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS HOSPITALES</b>	<b>194</b>
<i>Katia Jiménez</i>	
Universidad Politécnica de Madrid	
<b>INTEGRACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS Y DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL</b>	<b>200</b>
<i>Luis Clavería, Jose Miguel Pallarés y Raúl Serradilla Bejarano</i>	
Hotel Ciudad de Binefar, SYP Ingenieros y Samsung Electronics Air Conditioner Europe	
<b>INTERCAMBIADOR AIRE-AIRE ADAPTADO A FACHADAS VENTILADAS</b>	<b>206</b>
<i>Haritz Alberdi Lizaso e Iñigo Urria Mardaras</i>	
Tecnalia Research & Innovation	
<b>AHORROS ENERGÉTICOS EN EDIFICIOS CON MURO CORTINA DE VIDRIO Y DOBLE PIEL METÁLICA</b>	<b>211</b>
<i>Patxi Rubin</i>	
IMAR	
<b>EDIFICIOS CON SOLUCIÓN CENTRALIZADA DE BOMBA DE CALOR Y DESCENTRALIZADA DE VENTILACION CON RECUPERACIÓN DE CALOR</b>	<b>216</b>
<i>Germán Almendáriz Jiménez</i>	
Vaillant	
<b>EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DE TIPO RESIDENCIAL (MULTIFAMILIAR) ALCANZANDO UN COSTO DE CONSTRUCCIÓN SIMILAR A LOS EDIFICIOS CONVENCIONALES</b>	<b>220</b>
<i>Domingo González Arias</i>	
Saunier Duval	
<b>MULTIPRESTACIONALIDAD DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN BASE HORMIGÓN</b>	<b>226</b>
<i>César Bartolomé Muñoz, Arturo Alarcón Barrio, José Antonio Tenorio Ríos y Alejandro López Vidal</i>	
IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones), Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC) y ANDECE (Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón)	
<b>CÁLCULO DEL POTENCIAL TÉRMICO DE UN MURO PANTALLA TERMOACTIVADO - HERRAMIENTA "GEOTOOL"</b>	<b>232</b>
<i>Iñigo Urria y Mercedes Gómez de Arteche</i>	
Tecnalia Research & Innovation	
<b>COMPROBANDO CÓMO FUNCIONA UNA FACHADA: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FACHADA EN UNA VIVIENDA DE ENERGÍA CASI NULA</b>	<b>236</b>
<i>Anna Manyes Castellà</i>	
ROCKWOOL Peninsular	
<b>ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON RECUPERACIÓN DE CALOR – REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN BLOQUE DE VIVIENDAS</b>	<b>242</b>
<i>Moisés Odriozola-Maritorena, Carlos García-Gáfaró, Iñaki Gómez-Arriaran, Santiago Pascual e Iván Agudies</i>	
UPV/EHU, Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco y Siber Zone	
<b>"BACNET IP" E "IOT": TECNOLOGÍAS PARA DESARROLLAR EDIFICIOS "VIVOS EN CONSTANTE EVOLUCIÓN"</b>	<b>248</b>
<i>Roberto Iraola Pazos de Provencs</i>	
Beckhoff España	
<b>LA TECNOLOGÍA DIGITAL APLICADA EN CERÁMICA QUE MEJORA LA CALIDAD DE LOS EDIFICIOS Y DEL ENTORNO</b>	<b>254</b>
<i>Valentino Capucci, Claudia Bianchi y Melissa Meliá</i>	
Iris Ceramica Group, Universidad de Milán y Matimex	
<b>INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES IN SITU O EN EL ENTORNO DEL EDIFICIO:</b>	
<b>BLOQUE DE VIVIENDAS EN ASTURIAS DE ENERGÍA POSITIVA COMBINANDO EL AUTOCONSUMO COMPARTIDO, LA AEROTERMIA Y LA RECUPERACIÓN DE CALOR</b>	<b>258</b>
<i>Aser Moris Rodríguez</i>	
MORIS ARROES	
<b>ACS CON SOLAR TÉRMICA EN NZEBs: FUENTE INAGOTABLE, CONSUMO NULO Y CERO EMISIONES</b>	<b>264</b>
<i>Pascual Polo</i>	
ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica)	
<b>TRIODOS BANK Y ECOOO, AFIANZAN SU COLABORACIÓN PARA PROMOVER EL AUTOCONSUMO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	<b>269</b>
<i>Héctor Pastor</i>	
ecooo revolución solar	

<b>DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA INTELIGENTE DE DIMENSIONADO Y DISEÑO DE INSTALACIONES MULTIGENERACIÓN PIDIM PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS</b>	<b>274</b>
<i>José Sánchez Ramos, Silvia Sanjoaquín Vives, M. Carmen Guerrero Delgado, Francisco José Sánchez de la Flor, Servando Álvarez Domínguez, José Luis Molina Félix, Alejandra Sayans Jiménez y Francisco García-Luengo Machado</i>	
Universidad Sevilla, Universidad Cádiz y Gas Natural Fenosa	
<b>CHESSE SETUP: EL PROYECTO EUROPEO HACIA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO</b>	<b>280</b>
<i>Lucía González Navarete y Roby Moyano</i>	
Edenway	
<b>ENERTIC - CENTRO DE INNOVACIÓN Y EMPRESAS PARA EL ÁMBITO SMART</b>	<b>284</b>
<i>Ana Aizpuru e Izaskun Larzabal</i>	
Fomento de San Sebastián y Ezketa Arquitectura y Urbanismo	
<b>REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS:</b>	
<b>LOS EDIFICIOS NO NECESITAN RESPIRAR, NECESITAN SECAR: ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS POR HUMEDAD EN LA REHABILITACIÓN ENERPHIT DE UN EDIFICIO HISTÓRICO EN BARCELONA</b>	<b>290</b>
<i>Oliver Style, Bega Clavero y Nuria Widmann</i>	
Progetic e Intercon	
<b>ESTRATEGIA DEL AYUNTAMIENTO MADRID PARA FOMENTAR LA REHABILITACIÓN CON CRITERIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES EN APIRUS</b>	<b>296</b>
<i>Pilar Pereda Suquet</i>	
Ayuntamiento de Madrid	
<b>REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS - CÓMO MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA Y COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>302</b>
<i>Gloria Gómez Muñoz, Isabela Velázquez Valoria y Georgios Tragopoulos</i>	
Cc60 estudio de arquitectura, Gea21 y WWF España	
<b>ALVÁREZ MENDOZA 1914: SOLUCIONES PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO PROTEGIDO</b>	<b>308</b>
<i>Ana Isabel Menéndez Suárez</i>	
EFINCO	
<b>¿SE ESTÁN REHABILITANDO LOS EDIFICIOS DE VIVIENDAS CON LOS CRITERIOS DE EECN? CASO DE ESTUDIO DE CUATRO EDIFICIOS EN BURGOS</b>	<b>314</b>
<i>Raúl Briones Llorente y Eduardo Montero García</i>	
Universidad de Burgos	
<b>REHABILITACIÓN ENERGÉTICA INTEGRAL DE UNA CASA DE PIEDRA AISLADA</b>	<b>319</b>
<i>Ricardo Rebolledo</i>	
<b>MODELOS DE NEGOCIO PARA IMPULSAR LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS Y DISTRITOS RESIDENCIALES</b>	<b>324</b>
<i>Javier Martín Sanz, Alfonso Gordaliza Pastor, Enrique Martín Guillem, José Ramón Martín-Sanz García, Carmen Muñoz Rodríguez, Isabel Martín Sanz e Irene de Castro</i>	
Servicios LECAM y 3IA	
<b>ESTUDIO ENERGÉTICO EN VIVIENDA REHABILITADA CON INSUFLADO DE CÁMARA CON LANA MINERAL</b>	<b>329</b>
<i>Josep Bové Mestre</i>	
Knauf Insulation	
<b>REMODELACIÓN DEL EDIFICIO DE MANTENIMIENTO DE LA UPM PARA LA SEDE DEL CENTRO DE INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO (ITDUPM)</b>	<b>335</b>
<i>M. Alméstar, E. Caamaño-Martín, C. Mataix, J. Moreno, F. Olivier y S. Romero</i>	
Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM) y Universidad Politécnica de Madrid	
<b>LA PARTICIPACIÓN COMO MECANISMO PARA SUPERAR LAS BARRERAS SOCIALES A LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA</b>	<b>340</b>
<i>Cecilia Segovia Collado</i>	
Universitat Politècnica de Catalunya	
<b>PLANIFICACIÓN Y REGENERACIÓN URBANA:</b>	
<b>INFLUENCIA DE LA MOVILIDAD URBANA EN LOS EDIFICIOS EECN</b>	<b>346</b>
<i>Ignacio Prieto Leache y Víctor Soler Gómez</i>	
Tragsatec, Grupo Tragsa	
<b>SECTOR RESIDENCIAL "LA ESTRELLA" DE BADALONA - EL URBANISMO DESDE LOS EDIFICIOS DE CONSUMO CERO</b>	<b>352</b>
<i>Fernando Aranda Moreno</i>	
Generalitat de Catalunya	
<b>ENTREPATIOS LAS CAROLINAS: EL PRIMER COHOUSING ECOLÓGICO DE MADRID</b>	<b>358</b>
<i>Iñaki Alonso, Elena Castillo, Ana González, Marta Torralba, Paloma Suárez, Paloma Lara, Fernando Campos, Pablo Rodríguez, Daniel Pascual y Pascual Pérez</i>	
sAtt Arquitectura Abierta, Técnica ECO, danielpascual consultoría instalaciones y Civic Wise	

<b>REHABILITACIÓN DE BARRIOS BAJO CRITERIOS NZEB, APRENDIENDO LECCIONES DEL PROYECTO EUROPEO EU-GUGLE</b>	<b>363</b>
<i>Inés Díaz Regodón, Florencio Manteca González, Javier Llorente Yoldi, Francisco Serna Lumbreras y Marta Sampedro Bores</i>	
<i>Centro Nacional Energías Renovables CENER</i>	
<b>USO, GESTIÓN Y MANTENIMIENTO:</b>	
<b>ECÓMETRO Y LAS DECLARACIONES AMBIENTALES DEL EDIFICIO DAE</b>	<b>369</b>
<i>Iñaki Alonso Echeverría y Diego Ruiz Amador</i>	
<i>Asociación Ecómetro</i>	
<b>EXPERIENCIAS DE USO Y OPERACIÓN DE UN EDIFICIO DE 171 VIVIENDAS SOCIALES DE ENERGÍA CASI NULA – ANÁLISIS AMBIENTAL Y SOCIO-ECONÓMICO</b>	<b>374</b>
<i>Alberto Ortiz de Elgea, David Grisaleña, Patxi Hernández y Beatriz Sanchez</i>	
<i>VIRESA y TECNALIA</i>	
<b>ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE TODOS LOS ELEMENTOS DE UN EDIFICIO DESDE SU DISEÑO</b>	<b>380</b>
<i>Licinio Alfaro, Jose Lucas y Gloria Díez</i>	
<i>Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC)</i>	
<b>PROYECTOS Y OBRAS EECN:</b>	
<b>EDIFICIO TITANIA DE CONSUMO NULO PASSIVHAUS PLUS</b>	<b>384</b>
<i>Promotor: Maqueda, Gallego y Álvarez S.A.</i>	
<i>Proyectistas: Daniel Diedrich y Talia Dombriz. DMDVA ARQUITECTOS</i>	
<b>EJECUCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO DE CLIMA MEDITERRÁNEO EN EL BARRIO DEL CABANYAL DE VALENCIA</b>	<b>392</b>
<i>Promotor: Ana Hontangas López</i>	
<i>Proyectistas: Buj&amp;Cuadron arquitectes</i>	
<b>ANTIGUO MERCADO DE FRUTAS Y VERDURAS (UNA REHABILITACIÓN A ESCALA URBANA)</b>	<b>399</b>
<i>Promotor: Ayuntamiento de Madrid, Área de Economía y Hacienda, D. G. de Patrimonio</i>	
<i>Proyectista: PesqueraUlarguiarquitectos</i>	
<b>“CASA QUETA”: UN EECN CONCEBIDO PARA DISFRUTAR LA ORIENTACIÓN NORTE</b>	<b>406</b>
<i>Promotor: Prudencio Martínez Martínez y Concha Uría González</i>	
<i>Proyectista: Concha Uría</i>	
<b>REINVENTANDO LA OFICINA: BIOCONSTRUCCIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	<b>412</b>
<i>Promotor: TRIODOS BANK N.V. ESPAÑA</i>	
<i>Proyectista: sAtt Arquitectura Abierta</i>	
<b>OBRA DE REHABILITACIÓN INTEGRAL DE CASONA DE INDIANOS DE 102 AÑOS QUE FORMA PARTE DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE ASTURIAS PARA USO COMO HOTEL RURAL</b>	<b>419</b>
<i>Promotor: Alfonso Luis Valle Poo</i>	
<i>Proyectistas: DUQUEYZAMORA arquitectos formado por Iván Duque y Alicia Zamora</i>	
<b>TORRE MARINA DE IBERDROLA INMOBILIARIA: ICONO DE EDIFICIOS DE OFICINAS DE ENERGÍA CASI NULA A GRAN ALTURA</b>	<b>427</b>
<i>Promotor: IBERDROLA Inmobiliaria Patrimonio SAU</i>	
<i>Proyectistas: Arquitecturas Oscar Tusquets Blanca. S.L. / TDA Arquitectura y Urbanismo 2002</i>	
<b>ALMIRANTE CADARSO 33: REHABILITACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICIO RESIDENCIAL EN EL ENSANCHE DE VALENCIA</b>	<b>435</b>
<i>Promotor: José Ribes (RIMONTGO)</i>	
<i>Proyectistas: José Martí y José Luna (ERRE ARQUITECTURA)</i>	
<b>EXPERIENCIA DE PROYECTO Y EJECUCIÓN DE 361 VIVIENDAS DE PROMOCIÓN PÚBLICA EN ALTURA Y RESPONDIENDO AL ESTANDAR PASSIVHAUS–ENERGIA CASI NULA: ANÁLISIS CONSTRUCTIVO Y ALTERNATIVAS</b>	<b>442</b>
<i>Promotor: VIRESA: Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A.</i>	
<i>Proyectistas: VArquitectos; Germán Velázquez Arteaga, Sara Velázquez Arizmendi, Silvia Mingarro Cuartero, Germán Velázquez Arizmendi</i>	
<b>EDIFICIO DE OFICINAS DE CONSUMO CERO Y BAJO COSTE EN MADRID: 'EL RETO KÖMMERLING'</b>	<b>450</b>
<i>Promotor: Kömmerling (Profine Iberia)</i>	
<i>Proyectistas: David Moreno Rangel y Elena Vilches Álvarez [enmedio studio]</i>	
<b>BIBLIOTECA MUNICIPAL EN SAN FERMÍN</b>	<b>457</b>
<i>Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Cultura y Deporte. Dirección General de Intervención en el Paisaje Urbano y Patrimonio Cultural</i>	
<i>Proyectistas: Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid S.A. (EMVS de Madrid). Arquitecto Jefe de Proyecto, Horacio Fernández del Castillo</i>	
<b>EDIFICIO DOTACIONAL MIXTO EN LA CALLE COSTANILLA DE LOS DESAMPARADOS 15 Y CALLE FÚCAR 6 Y 8, MADRID</b>	<b>463</b>
<i>Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno Economía y Hacienda. DG Patrimonio</i>	
<i>Proyectista: Alfonso Murga, Arquitecto Municipal de la DG de Patrimonio</i>	
<b>AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PALACIO DE CONGRESOS DE VITORIA-GASTEIZ BAJO EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS ENERPHIT</b>	<b>469</b>
<i>Promotor: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz</i>	
<i>Proyectista: Izkun Larzabal Arkitektura/Hirigintza</i>	

<b>UN EECN EQUIPAMENTAL: ESCUELA INFANTIL EN VITORIA-GASTEIZ</b>	<b>476</b>
<i>Promotor: Departamento de Educación Gobierno Vasco</i>	
<i>Proyectistas: LUZYESPACIO, Ramón Ruiz-Cuevas Peña, arquitecto e Íñigo Azcarate Mutiloa, arquitecto colaborador</i>	
<b>VIVIENDAS PASIVAS - COOPERATIVA DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN VALLADOLID, PLAN PARCIAL "EL PERAL", PROYECTADAS SEGÚN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS</b>	<b>483</b>
<i>Promotor: SOCIEDAD COOPERATIVA VALLADOLID SUR (1, 3ª y 4ª FASE)</i>	
<i>Proyectista: Alberto López Merino, ESTUDIO LÓPEZ MERINO Y ASOCIADOS SLP</i>	
<b>EDIFICIO DEPARTAMENTAL DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA</b>	<b>491</b>
<i>Promotor: Universidad de Zaragoza</i>	
<i>Proyectistas: Magén Arquitectos SLP (Jaime Magén, Francisco Javier Magén)</i>	
<b>WELLNESS HUB, EDIFICIO ENERGÍA CASI NULA, CON CELOSÍA BIOCLIMÁTICA, PREFABRICADA DE HORMIGÓN POROSO, EN MÉXICO</b>	<b>498</b>
<i>Promotor: Capital Natural</i>	
<i>Proyectistas: Picharchitects Pich-Aguilera, PGI Engineering</i>	
<b>NOBELIA, THE GATEWAY TO THE KIGALI BUSINESS DISTRICT, UN EECN DE USOS MIXTOS HOLÍSTICO E INTEGRADO EN ÁFRICA INTERTROPICAL</b>	<b>505</b>
<i>Promotor: HABI Ltd. (Rwanda)</i>	
<i>Arquitectura: Carlos Arroyo Architects (Carlos Arroyo)</i>	
<b>VIVIENDAS PASIVAS EN CONSTRUCCIÓN EN VILLANUEVA DE LA CAÑADA</b>	<b>513</b>
<i>Promotor: Dña. Mª Isabel Taracido Serrano y Dña. Mª Elena Taracido Serrano</i>	
<i>Proyectista: Clara Ulargui Aparicio</i>	

¿ACEPTAS EL RETO?



EDIFICIO  
**Zero**  
KÖMMERLING

Construir Edificios de Consumo Nulo con un coste de ejecución viable es posible y en KÖMMERLING lo vamos a demostrar.

[retokommerling.com](http://retokommerling.com)



**KÖMMERLING®**

# LG

**360**  
PARTNER

Hotel TV  
Commercial Display

**AIRE ACONDICIONADO**

Monitores  
Movilidad

**NUESTRA EXPERIENCIA**  
*con la máxima eficiencia energética*

**TU TRANQUILIDAD**



**ASISTENCIA  
TÉCNICA**  
24/7\*



**MAYOR RESISTENCIA  
A LA CORROSIÓN**

Gracias al sistema  
Ocean Black Fin.



**GARANTÍA DE  
MÁXIMA CALIDAD**

5 años de garantía  
en la unidad exterior.



**DUAL SENSING  
CONTROL**

Sensor de temperatura  
y humedad.



**MAYOR AHORRO  
ENERGÉTICO**

Reduce hasta un 21%  
de consumo de energía.



\*Consulta condiciones en [www.lgpartner360.es](http://www.lgpartner360.es)

 **LG** | Business  
Solutions

# Innovación y sostenibilidad

PARA CONSTRUIR CADA DÍA  
UNA VIDA MÁS CONFORTABLE

www.saint-gobain.es



Saint-Gobain BUILDING GLASS es fabricante de vidrio plano para el sector de la construcción y propietario de la marca líder de doble acristalamiento CLIMALIT PLUS.

Saint-Gobain GLASSOLUTIONS transforma, distribuye e instala vidrios de alto valor añadido.

Saint-Gobain ISOVER, líder en soluciones sostenibles en lana mineral, ofrece la gama más completa para el aislamiento.

Saint-Gobain PLACO es líder en fabricación y comercialización de yeso y placa de yeso laminado (PYL).

Saint-Gobain WEBER fabrica morteros industriales para la edificación sostenible.



El concepto Multi-Comfort de Saint-Gobain apuesta por un uso eficiente de la energía en la edificación garantizando al mismo tiempo el máximo confort.







BOMBA DE CALOR



Bomba de calor - Platinum BC Plus ACS

# TODAS LAS SOLUCIONES DE CLIMATIZACIÓN EN UN ARMARIO COMPACTO.

Controla el calor, el frío y la temperatura del agua desde el mismo equipo.

UNIDAD EXTERIOR



PLATINUM BC PLUS ACS



Presentamos lo último en bombas de calor BAXI que se acomodan a cualquier tipo de hogar.

Producen frío, calor y agua caliente desde la misma unidad con un alto nivel de eficiencia. La gama de bombas de calor Platinum BC Plus ACS ha sido creada con el objetivo de poder acomodarla de forma rápida y sencilla en cualquier parte del hogar, pudiendo incluso instalarla en el interior de un armario de cocina.



551 mm frontal  
562 mm profundidad  
2208 mm altura

[www.baxi.es](http://www.baxi.es)



**BAXI**  
LA NUEVA CLIMATIZACIÓN

- Radiadores de diseño
- **Ventilación interior confortable**
- Sistemas de climatización radiante
- Soluciones de aire limpio

**zehnder**

always the  
best climate

**Siempre el mejor clima para...**

# LA EFICIENCIA ENERGÉTICA, LA SALUD Y EL CONFORT

**Zehnder ComfoAir Q** ofrece soluciones tecnológicamente innovadoras para la ventilación y la climatización de interiores, con recuperación de calor.

- Aire fresco y limpio, sin corrientes de aire.
- Antialérgico, impide la entrada de sustancias nocivas.
- Recuperación de calor cercana al 95%.
- Certificado Passivhaus.



T +34 902 111 309  
[www.zehnder.es](http://www.zehnder.es)



**runtal** y **zehnder**

son marcas de Zehnder Group



# IV Congreso EECN

## Edificios Energía Casi Nula

Madrid, 13-14 Diciembre 2017

ORGANIZA:



COMUNICA:



PATROCINIO ORO:



PATROCINIO PLATA:



PATROCINIO BRONCE:



APOYO INSTITUCIONAL:



COLABORA:



## ESTANQUEIDAD EN GRANDES EDIFICIOS - AMPLIACIÓN DE LA NAVE DE AMAZON

Sergio Melgosa Revillas, Director Técnico, Ebuilding, Edificios Eficientes

**Resumen:** La estanqueidad de los edificios no es, hoy en día, un objetivo que se persiga en los edificios de nueva construcción. El empuje del estándar Passivhaus, hace que se vaya conociendo y trabajando más al menos a nivel residencial. En grandes edificios es más complicado de lograr y medir, pues es necesario montar más de un ventilador para conseguir una diferencia de presión de 50 Pascales entre el interior del edificio y el exterior. En la ampliación de la nave de Amazon se nos solicitó realizar un test de estanqueidad (Blower door test), de gran complejidad por el enorme volumen de aire interior de la nave, más de 545.000 m3. Para ello fueron necesarios 24 ventiladores en marcha. Todo un hito de los ensayos de estanqueidad de edificios en España.

**Palabras clave:** Estanqueidad, Infiltraciones, Blowerdoor, EECN

### INTRODUCCIÓN A LA ESTANQUEIDAD DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

En la pasada década, los ensayos de estanqueidad de edificios se han convertido, de manera gradual, en parte de la normativa relacionada con la construcción y el ahorro de energía que deben cumplir países como Dinamarca, Francia, Irlanda, Portugal y Reino Unido. En otros tantos países la normativa se está revisando para incluir este ensayo debido a la certeza del elevado impacto energético de las fugas de aire en el cálculo global de la demanda energética y de cara al objetivo de construir Edificios de Consumo Casi Nulo (EECN).

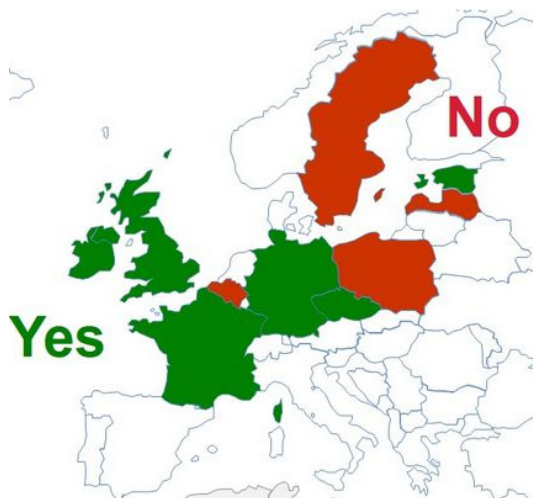


Figura 1. Países en los que existen regulaciones sobre estanqueidad mínima de sus edificios (Fuente: TightVent Airtightness Asociación Committee-TAAC, 2017).

La estanqueidad del edificio es el parámetro que más contribuye a reducir el consumo de energía del edificio. En Europa se vienen a hacer unos 200.000 ensayos de estanqueidad al año, de los que muy pocos son los que se realizan en España.

Para ello, es importante no sólo la concienciación de los actores implicados, muchos presentes aquí. También será importante cómo se regule, la capacitación de las personas o empresas que hacen dichos ensayos, su formación, protocolos, bases de datos y otros aspectos relevantes.

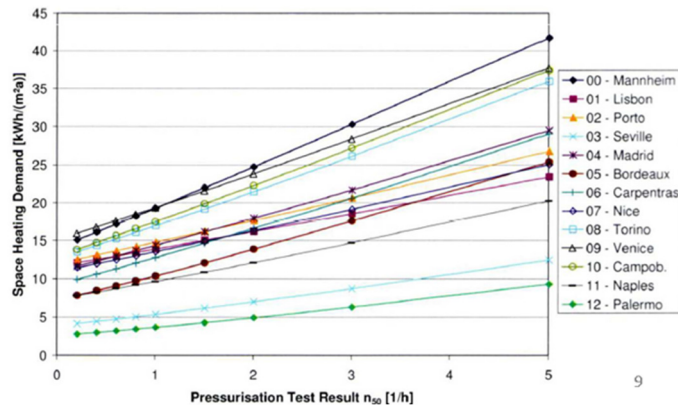


Figura 2. Relación entre la estanqueidad al aire y la demanda de calefacción de una vivienda. Fuente: Passivhaus Institut.

El desconocimiento sobre la metodología del ensayo y la información que aporta nos anima siempre a tratar de difundir las ventajas de su aplicación. No es un ensayo complejo de realizar ni costoso, siendo además un ensayo rápido y no invasivo, al menos en viviendas y pequeños edificios. Sirva la siguiente figura para de una manera esquemática, entender este ensayo, que básicamente consiste en despresurizar la vivienda (extraer aire, aunque también se puede presurizar) y medir el caudal de aire de infiltración, pues todo el aire que sacamos del edificio ha de estar penetrando en él por diferentes partes, seguramente desconocidas.



Figura 3. Esquema de funcionamiento de un test de estanqueidad en modo despresurización (extracción de aire de la vivienda). Fuente: CEREMA, Romuald Jobert.

Las infiltraciones no controladas de aire son responsables de:

- Pérdidas de calor y frío que penalizan la factura energética
- Corrientes de aire molestas que afectan al confort del usuario
- Entrada de aire no controlado y sin filtrar, algo especialmente grave en entornos urbanos altamente contaminados o entornos rurales donde se aplican plaguicidas y otros productos
- Afectan a la salud de las personas en sus casas o lugares de trabajo, incrementando de las bajas por enfermedades respiratorias y alergias

## Descripción y preparación del edificio

La ampliación de la nave de Amazon, en San Fernando de Henares (Madrid) comenzó en 2015. Se nos solicitó una oferta inicialmente, quizás para incluirla en el presupuesto general de la obra, y no volvimos a tener noticias hasta prácticamente un mes y medio antes de realizar el ensayo. Esto nos dejó muy poco margen para preparar un test de tal magnitud.



Figura 4. Vista aérea de la nave de Amazon.

La nueva nave, anexa a la ya existente pero independiente, constaba de la zona de almacenamiento, los muelles de carga y oficinas. Sin un requisito concreto de estanqueidad exigido por la propiedad o Dirección Facultativa, se hacía difícil estimar el número de ventiladores necesarios para realizar el ensayo.

Superficie de la envolvente	100.297,61 m <sup>2</sup>
Altura media	12,24 m
Volumen interior	545.642,67 m <sup>3</sup>

Tabla 1. Resumen del cuadro de medición.

Finalmente fueron 24 los ventiladores que trasladamos a la nave de Amazon para realizar el test. La realidad es que se hubieran necesitado muchos más de no sellar las rampas de carga y descarga de los muelles ya que tenían unas importantes aberturas al exterior.

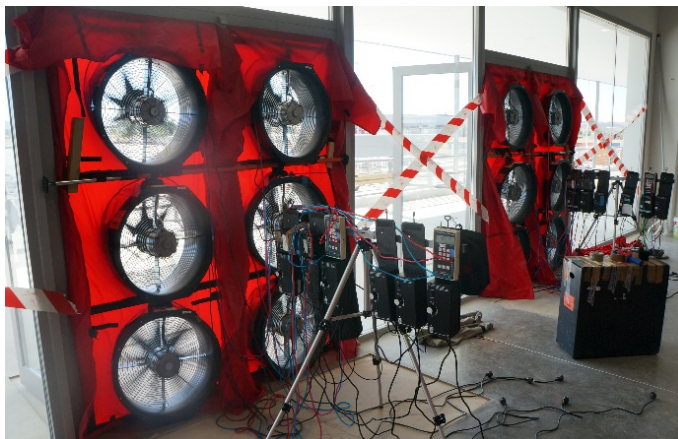


Figura 5. Grupo de 6 ventiladores montado en una de las puertas de acceso a la nave.

Se preparó un protocolo para realizar el sellado del edificio ya que la empresa constructora no tenía experiencia previa en la realización de test de estanqueidad. El trabajo de preparación del edificio es esencial para poder realizar el ensayo y fue éste uno de los principales problemas al que nos enfrentamos el día del ensayo, ya sin margen de maniobra.

Muchas de las unidades Roof-Top de cubierta tenían un sellado deficiente de sus compuertas de admisión, que sin duda se soltaría al arrancar los 24 ventiladores.

El montaje de los ventiladores y su configuración, en las puertas principales de la nave, comenzó a las 08:00 horas y finalizó a las 14:00 horas. Esto nos da una idea de la complejidad del test llevado a cabo.

### Desarrollo del test de estanqueidad

Una vez finalizado el montaje de los ventiladores y configurado el software TECLOG, nos dispusimos a comenzar el ensayo, en modo despresurización (extracción de aire) y localizar las posibles fugas de aire.

Para ello se debe lograr estabilizar una diferencia de presión de 50 Pascales entre el exterior del edificio y el interior. Este método del test (modo velocidad de cruce) nos permite ya conocer la estanqueidad del edificio (las renovaciones / hora) y detectar las entradas de aire del edificio.

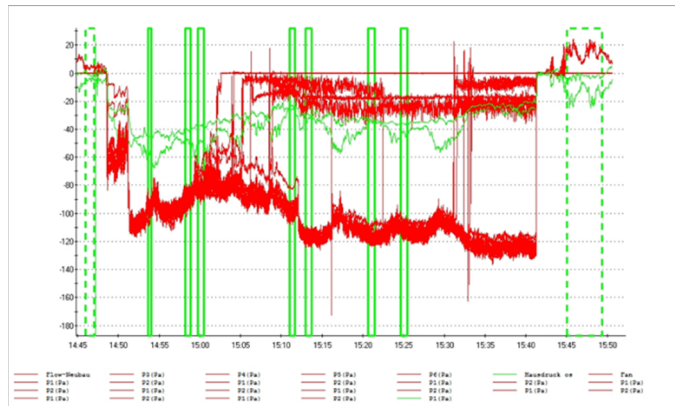


Figura 6. Gráfica de despresurización.

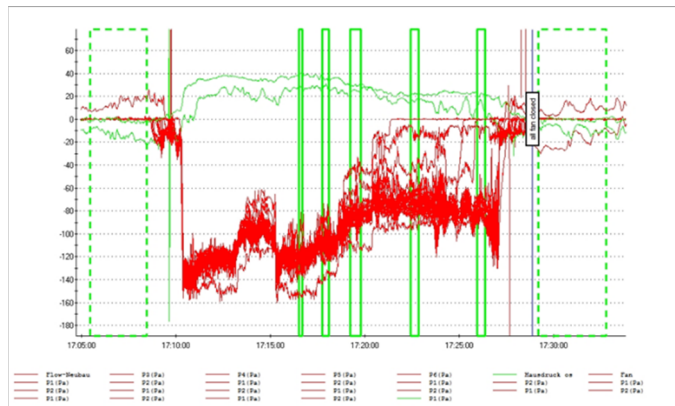


Figura 7. Gráfica de presurización.

Las curvas rojas corresponden a las mediciones de los ventiladores. En la gráfica, en el eje de las X tenemos la diferencia de presión, en valores negativos al ser una despresurización. Y en el eje de las Y tenemos el tiempo. Cada área verde representa una medición del caudal de infiltración.

### Localización de infiltraciones

Para esta tarea contamos con termógrafos profesionales, hasta 3 personas con sus cámaras térmicas. Siempre es más sencillo realizar la localización de infiltraciones en invierno, sin la presencia fachadas soleadas que puedan confundir los patrones térmicos y con un mayor contraste térmico, pero contando con buenas cámaras térmicas, por encima de

320x240 píxeles, una cualificación de Nivel I en termografía y experiencia en ensayos de estanqueidad, se puede usar este método de localización de entradas de aire con seguridad.

Además, se emplearon máquinas de humos y anemómetros de hilo caliente y molinete para detectar también las entradas de aire y cuantificarlas.

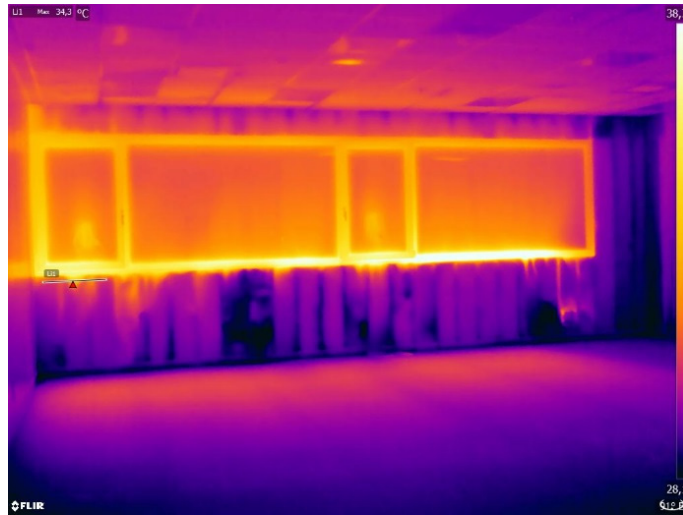


Figura 8. Entradas de aire en la zona de oficinas.

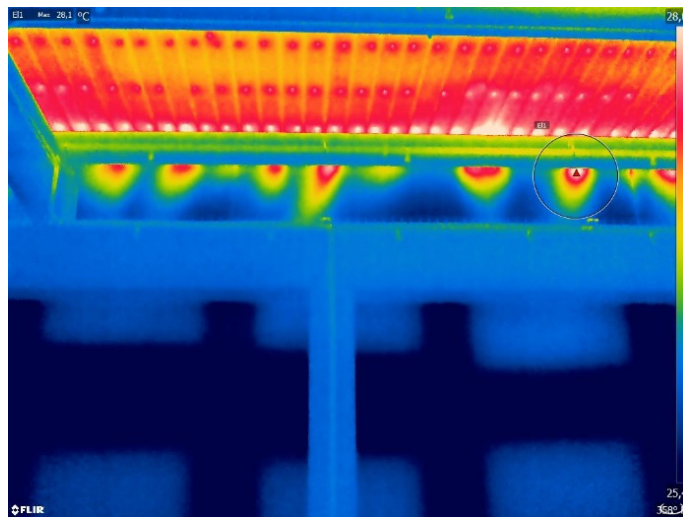


Figura 9. Entradas de aire en el encuentro de la cubierta con la fachada.



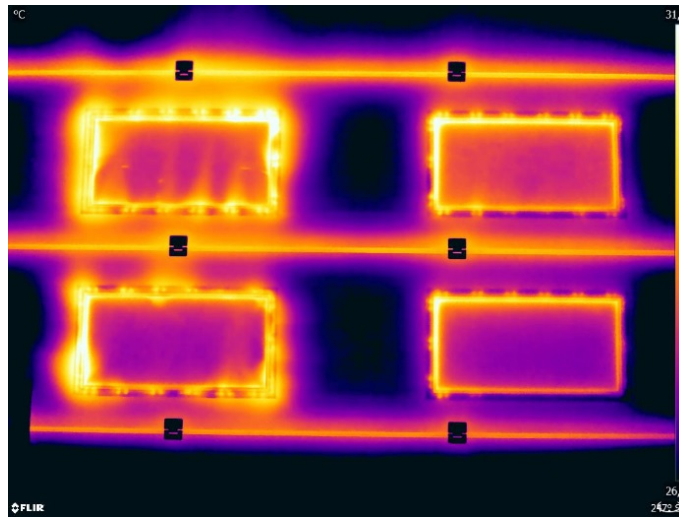


Figura 10. Entradas de aire en las ventanas de las puertas (50 puertas) de los muelles de carga.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados del test fueron:

	V = 545.642 m3	AE = 100.297 m2	
	V50 (m3/h)	n50 (1/h)	q50 (m3 / m2 h)
DESPRESURIZACIÓN	168.643	0.31	1.7
PRESURIZACIÓN	209.678	0.38	2.1
MEDIA	189.161	0.35	1.9

Tabla II. Valores del test de estanqueidad.

Como hemos comentado, las 50 puertas de carga y descarga de los muelles tuvieron que ser selladas para poder conseguir la diferencia de presión de 50 Pascales necesaria para el test, pero debía estimarse el caudal de fuga de esta parte, que en otras circunstancias no se sellaría.

El total del área de fuga era de 47.500 cm<sup>2</sup> y su caudal de fuga a 50 Pa sería de 95.000 m<sup>3</sup>/h (V50 = área de fuga (cm<sup>2</sup>) x 2). Sumando este dato al V50 medio de la tabla 2 tenemos por tanto un caudal de infiltración final de 284.161 m<sup>3</sup>/h y un valor **q50 = 2,81 m3/h**

A la luz de estos resultados, nuestras conclusiones principales son:

- Fugas de aire importantes en carpinterías de oficinas
- Fugas de aire importantes en las puertas de carga y descarga
- Elevada exposición al viento de la nave, por su situación geográfica, que hubiera requerido de un mayor trabajo de estanqueidad en las juntas del edificio

## AGRADECIMIENTOS

A los que el día 23 de Julio de 2016, conseguimos realizar el mayor test de estanqueidad en España. Francisco Soto, Óscar Millano y Paul Simons.

# ESTRATEGIA DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID PARA FOMENTAR LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA

**Pilar Pereda Suquet**, Asesora Área de Desarrollo Urbano Sostenible, Ayuntamiento de Madrid

**Resumen:** Con la finalidad de cumplir el requerimiento de las Directivas Europeas en cuanto a edificios de consumo de energía casi nulo, el Ayuntamiento de Madrid, propuso un Acuerdo Plenario que se adoptó por unanimidad en el Pleno Municipal de 25 de Mayo de 2016, por el que asume que todos los edificios de nueva planta que se proyecten y, en la medida de lo posible, aquellos existentes cuya ampliación o rehabilitación integral se programe por este Ayuntamiento, sean edificios de energía positiva. Este objetivo se materializa en la limitación de la demanda energética y en la utilización de energías renovables.

**Palabras clave:** Edificios Energía Positiva, Energía Casi Nula, Eficiencia Energética, Ahorro, Renovables

## EL EJEMPLO DE LOS EDIFICIOS MUNICIPALES DE ENERGÍA POSITIVA

### Antecedentes

La Directiva 2010/31/UE, EPBD, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios en su artículo 9.1, indica que los Estados miembros se asegurarán de que después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Esta misma Directiva define un “edificio de consumo de energía casi nulo” como un “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, en el que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno”.

Con fecha 10 de septiembre de 2013, se publicó la Orden FOM/1635/2013, que modifica el documento básico DB HE “Ahorro de Energía” del Código Técnico de la Edificación, incrementando considerablemente la exigencia de reducción de la demanda respecto a la redacción anterior del Código Técnico de la Edificación. Además, se introduce la Sección HE 0 que fija la limitación del consumo.

Sin embargo, durante el año 2014, en la Comunidad de Madrid de los 239 edificios nuevos construidos, 116 tienen calificación energética C, 43 tienen D y 15 tienen calificación E, sólo 11 alcanzan la calificación A y 54 la B, según los datos del Informe de enero 2015, actualizados a 31 de diciembre de 2014, emitido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, sobre la calificación energética de los edificios.

Han transcurrido 10 años desde aquel primer Real Decreto 47/2007 por el que se aprobó la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, y sin embargo, aunque existe un conocimiento general de su significado, falta la exigencia social que situaría la eficiencia energética como una prioridad al mismo nivel de la resistencia estructural del edificio, por ejemplo. Algo que ya ocurre en otros países de la UE.

### Del consumo de energía casi nulo a la energía positiva

Con el ejemplo del resultado de la transposición de la citada Directiva en otros países, se definen los “edificios de energía casi nulo” como “edificios de energía positiva”, es decir, edificios que no sólo generan la energía que precisan para su confort y correcta temperatura en climatización, sino que producen un excedente de energía para otros usos o fines.

Viendo los datos anteriores, ante la ausencia en la actualidad de directrices concretas que establezcan los indicadores de eficiencia energética para dar cumplimiento en España al objetivo de edificio de consumo de energía casi nulo impuesto por las Directivas europeas, y considerando que se iban a construir bastantes edificios nuevos dotacionales y residenciales, el Ayuntamiento quiso dar ejemplo y adelantarse a la fecha del 2019, tomando, en el Pleno del 25 de mayo de 2016, un Acuerdo por el que a partir de esa fecha todos los edificios de nueva planta que se proyecten y, en la medida de lo posible, aquellos ya existentes cuya ampliación o rehabilitación integral se programe o ejecute por este Ayuntamiento sean de energía positiva.

El cumplimiento de este objetivo y su aplicación práctica se tiene que llevar a cabo con total respeto a los rangos de confort que determine la normativa vigente.

## La definición

Para alcanzar este objetivo, el criterio que se establece es que la demanda energética para calefacción no exceda de 20 kWh/m<sup>2</sup>×año. Esta exigencia será aplicable a las diferentes tipologías de edificios, desde el sector residencial al sector terciario o secundario, ya que se refiere estrictamente a las prescripciones de climatización y no a las necesidades productivas o propias de la actividad a la que se destine el edificio.

Los costes de esta exigencia son fácilmente amortizables si se combinan criterios de diseño y medidas de tipo pasivo con un adecuado proyecto arquitectónico y la utilización de energías renovables apoyadas con las tecnologías y sistemas constructivos disponibles.

El cumplimiento de este objetivo y su aplicación práctica se llevarán a cabo con total respeto a los rangos de confort que determine la normativa vigente para las diferentes actividades desarrolladas en los edificios a los que afecten.

La acreditación del cumplimiento del objetivo propuesto de “Energía positiva” se justificará por certificación energética, por anexo de proyecto validado por auditoría externa o por cualquier procedimiento que los servicios municipales acepten como garantía suficiente del objetivo establecido.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto resulta necesario poner en marcha ya en este mismo año 2016 programas de formación dirigidos a técnicos, administrativos y agentes de mantenimiento, responsables de la gestión municipal, tanto para las actuaciones de iniciativa municipal como para apoyo y validación de las llevadas a cabo por entes de carácter privado o institucional por encomienda municipal.

Igualmente, resulta imprescindible para la consecución del objetivo de “Energía positiva” proceder a la revisión y adecuación de las instrucciones y pliegos de cláusulas de contratación que han de regir en los procedimientos de licitación cuyo objeto consista en la realización de obras de nueva planta y, en la medida de lo posible, en la rehabilitación integral de edificios existentes.

La eficiencia energética hay que verla no sólo como algo económico, que puedes pagar o no, sino como un eje estratégico de la lucha contra el cambio climático y también como una mejora en la balanza de pagos, puesto que casi toda la energía primaria es importada. Y la verdadera energía primaria autóctona y gratuita, es decir la energía solar, está penalizada en los últimos decretos.

## La verificación

Lo importante era, no sólo diseñar y construir edificios de energía positiva, también conseguir conocer si se había alcanzado el objetivo propuesto de “Energía positiva” y verificar que se mantiene a lo largo del tiempo.

En principio este objetivo se justificará por certificación energética, por auditoría externa o por cualquier procedimiento que los servicios municipales acepten.

## Definir la estrategia

Para lograr el cumplimiento de este objetivo, el Ayuntamiento se comprometió a llevar a cabo las siguientes líneas de actuación:

1. Elaboración de un programa formativo para técnicos, administrativos y agentes de mantenimiento, responsables de esta gestión, tanto para las actuaciones de iniciativa municipal como para apoyo y validación de las llevadas a cabo por entes de carácter privado o institucional por encomienda municipal, que se pondrá en marcha a partir de la fecha de publicación de este acuerdo.
2. Revisión de los pliegos de mantenimiento y conservación de edificios de titularidad municipal para incluir los sistemas constructivos y equipos que se incorporan en los edificios sostenibles.
3. Establecimiento de prescripciones técnicas en los nuevos pliegos de contratación de obras de nueva planta y de ampliación o rehabilitación integral cuando sea posible, de los edificios de titularidad municipal, tendentes al cumplimiento del objetivo de Energía positiva adoptado, incluyendo las relativas al control de calidad necesario.

4. Incorporación de sistemas de evaluación, medición o control de los consumos reales en determinados proyectos singulares o representativos que puedan contribuir a la mejora y desarrollo de nuevos proyectos.

## La formación

En 2017 se han organizado tres ciclos de formación de 25 horas cada uno, para el personal laboral del Ayuntamiento de Madrid y sus organismos Autónomos, cuyo desempeño del puesto de trabajo esté directamente relacionado con el diseño, control y mantenimiento de edificios municipales.

Primer ciclo: De introducción a los edificios de energía positiva, cuyo objetivo es la introducción al conocimiento técnico de los edificios de energía positiva, explicando los conceptos básicos de sostenibilidad, la reglamentación vigente, los medios para llegar a los edificios de energía positiva, y el conocimiento básico de herramientas de verificación existentes (programas de calificación energética, huella de carbono, DesignBuilder, simuladores, etc).



Figura 1. La formación.

Segundo ciclo: Sobre las medidas pasivas para llegar a los edificios de energía positiva, destinado a la especialización en las medidas pasivas que se pueden implementar en los edificios para alcanzar el objetivo de energía positiva, empezando por el diseño arquitectónico pasivo, el diseño bioclimático adaptado al lugar, las intervenciones en la envolvente y los sistemas pasivos.

Tercer ciclo: Sobre las instalaciones eficientes y las energías renovables para llegar a los edificios de energía positiva, destinado a la especialización en las instalaciones eficientes y en las energías renovables que se pueden implementar en los edificios para alcanzar el objetivo de energía positiva.

## Los primeros edificios de energía positiva

En el Ayuntamiento, ya tenemos en marcha varios edificios cumpliendo estos condicionantes, entre otros los que se detallan a continuación:

### **Edificio dotacional mixto en la calle Costanilla de los Desamparados 15 y calle Fúcar 6 y 8, Madrid**

El edificio que promueve el Ayuntamiento de Madrid en el corazón del Barrio de las Letras desarrolla un programa dotacional que va a paliar de manera significativa el déficit de equipamientos del centro histórico de la ciudad: Centro de Mayores, Centro de Alzheimer, Escuela Infantil, Equipamiento Polideportivo, Piscina, Cantón Municipal de Limpieza y Aparcamiento Multimodal para residentes, lo que constituye un aporte esencial para la sostenibilidad social de este barrio rehabilitado y revitalizado.

El edificio articula el espacio de las calles que lo rodean creando un recorrido a través de nuevo espacio público en el interior de la manzana que ocupa, enriqueciendo la trama espacial y los recorridos peatonales del barrio. Su particular situación, en la ladera que cae hacia el Paseo del Prado, a caballo entre dos calles, Costanilla de los Desamparados y Fúcar, desde las que tiene accesos con un desnivel de más de 6 metros, y la voluntad de restituir la integridad volumétrica de la manzana, tal como planteaba la modificación del PGOU de Madrid del año 2005, modelan una volumetría abierta con una gran exposición al medio climático y microclimático y con un importante volumen semienterrado y subterráneo.



Figura 2. Vista General de la calle Fúcar.

El edificio se resuelve como un medio de gestión dinámica de los recursos espaciales, energéticos e hídricos del medio al servicio de la funcionalidad de los distintos usos, de la potenciación de las prestaciones más adecuadas a cada perfil de uso y usuario, y a la reducción de los impactos sobre el ecosistema, la salud humana, el cambio climático y el uso de recursos materiales y energía, cumpliendo el objetivo de ser un edificio de Energía Casi Nula en coherencia con el compromiso adquirido para sus edificios por el Ayuntamiento de Madrid.

### **Biblioteca municipal en San Fermín**

Edificio innovador que responde a múltiples necesidades culturales. El trazado de la geometría del edificio, la distribución de usos y actividades dentro de la biblioteca, así como el diseño de sus fachadas y la definición de los usos culturales en el espacio libre de parcela han sido fruto del consenso entre los servicios técnicos municipales y un proceso de participación ciudadana. El equipamiento se ubica en una parcela de unos 1.900 m<sup>2</sup> y tiene una superficie construida de 3.129,39 m<sup>2</sup>. Se ha estructurado en tres plantas y un sótano, cuenta también con un espacio exterior con uso cultural.

El programa de usos responde a una organización de espacios de mayor ruido a silencio de manera progresiva, proyectado sobre grandes espacios diáfanos. En el proyecto se ha tenido especialmente en cuenta la definición de una envolvente que permita la máxima limitación de la demanda energética en función del clima y de la exposición a la radiación solar, además de responder a la demanda vecinal de ser una edificación permeable abierta al espacio exterior, que permita incorporar sensorialmente la presencia de las masas arbóreas de la propia parcela.



Figura 3. Proceso de participación Biblioteca municipal en San Fermín.



Figura 4. Infografía Biblioteca municipal en San Fermín.

**Centro de mayores calle Pez Austral, 6**

En la actualidad, se está construyendo un centro de mayores en el barrio de la Estrella con la condición de energía positiva. Para conseguir que el edificio sea sostenible se ha tenido en cuenta en el diseño reducir las pérdidas de energía para que la demanda energética sea mínima, para ello se construyen cubierta y fachadas de doble y triple hoja, respectivamente, siendo la última de ellas vegetal, de manera que el aislamiento convencional de fachada se ve implementado en más de un 20% gracias a esta protección vegetal, que además proporciona sombra y limpia el aire entorno.



Figura 5. Fachada vegetal Edificio Pez Austral.



Figura 6. Vista General Edificio Pez Austral.

Se opta por un sistema de climatización de suelo radiante y refrigerante, donde las temperaturas requeridas para los fluidos portantes son más bajas, proporcionando a su vez aire más limpio y una mayor sensación de confort térmico.

La fuente de energía principal es la geotérmica, con una fuente suplementaria de energía eléctrica a través de fotovoltaica. Se ha calculado una generación de calor y de frío a través del intercambio geotérmico, capaz de servir a las necesidades de climatización durante la mayor parte de los días del año. En los picos de calor y de frío se utilizará una bomba de apoyo, cuya demanda eléctrica pueda ser aportada por la instalación fotovoltaica. De esta manera, se puede considerar que el edificio no requiere de energía externa para su normal funcionamiento.

Las fachadas vegetales mejoran la composición del aire, gracias al porte de humedad y la captación de CO<sub>2</sub> y partículas finas, además proporcionan protección acústica. Por otra parte, adecúan el edificio al lugar en el que se ubica, un jardín entre bloques de vivienda.

**Antiguo Mercado de Frutas y Verduras. Una Rehabilitación a escala urbana**

Una intervención sobre un edificio protegido como patrimonio arquitectónico, donde las acciones proyectuales contemplan el carácter y escala de infraestructura urbana del edificio en la ciudad de Madrid. Se ha contemplado una actuación desde múltiples puntos de vista al ser una intervención sobre un edificio existente funcionalmente obsoleto, pero con un alto valor patrimonial.

Las acciones de proyecto de carácter pasivo son la reutilización sobre suelo ya construido, reciclaje de la estructura portante existente y mejora de las envolventes.

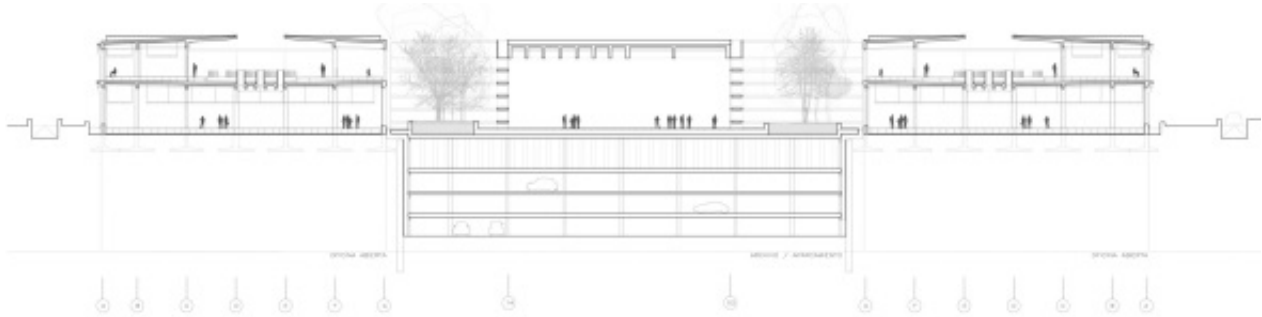


Figura 7. Sección del Antiguo Mercado de Frutas y Verduras - Una Rehabilitación a escala urbana.

En cuanto a la energía se proyecta una primera fase de instalación fotovoltaica que genera el 100% de la energía demandada por el edificio en estados pico, con la previsión futura de ampliación para poder almacenar en baterías o ceder energía eléctrica al complejo de Matadero.



Figura 8. Vista del patio interior del Sección del Antiguo Mercado de Frutas y Verduras.

El anillo existente de climatización de la Central Térmica de Matadero se conecta con el edificio, con las ventajas de optimización por simultaneidad de horarios por usos. Se proyecta una instalación geotérmica de baja entalpía. La demanda de climatización del edificio se resuelve inicialmente con los equipos de bombas de calor condensadas por agua asociados a la geotermia y se complementa con la red general del anillo de Matadero; en momentos donde la demanda del edificio de refrigeración es menor a la generada, se “devuelve” dicho frío al anillo, compensando así las demandas para conseguir consumo casi nulo e incluso la posibilidad de generar energía positiva.

## EL CONFORT EN EL CENTRO DE LA ESTRATEGIA PARA FOMENTO DE LOS EECN: CONCEPTO MULTI-CONFORT

**Adolfo Somolinos**, Director Técnico, Saint-Gobain

**Resumen:** La implementación de medidas pasivas conduce a una drástica disminución de la demanda energética de calefacción y refrigeración y aporta, al mismo tiempo, una mejora en las condiciones de confort en el interior de los edificios. Para llegar al EECN, es necesario disminuir la demanda energética como paso previo a la definición de otra serie de medidas que garanticen las mínimas necesidades energéticas del edificio. Sin embargo, existen muchos parámetros adicionales que influyen en el confort del usuario final, además de la eficiencia energética, como son el confort acústico, el confort visual y la calidad del aire interior y que junto con el confort térmico constituyen la base del programa Multi-Comfort de Saint-Gobain, que ha certificado más de 40 edificios a nivel mundial, situando al usuario final en el centro de la estrategia. En esta comunicación, se presentarán los estándares del concepto Multi-Comfort.

**Palabras clave:** Eficiencia Energética, Multi-Comfort, EECN, Acústica, Visual, Calidad del Aire Interior

### INTRODUCCIÓN - MÁS ALLÁ DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN: EECN

La edificación en España representa un importante consumidor de energía, por lo que el control de su consumo y la mayor utilización de la energía procedente de fuentes renovables, junto con el ahorro energético y una mayor eficiencia energética, constituyen parte importante de las medidas necesarias para cumplir tanto los objetivos nacionales como los compromisos comunitarios.

Siendo la eficiencia energética la palanca clave que empuja el sector de la construcción en España, no hay que perder de vista otros conceptos clave que deben tenerse en cuenta cuando construimos o rehabilitamos un edificio y es cómo funcionan los edificios en los cuales pasamos un gran porcentaje de nuestro tiempo y qué debemos esperar de ellos.

Rara vez consideramos si un edificio realmente cumple nuestras necesidades, a menos que deje de funcionar para nosotros o nos haga sentir incómodos.

¿Cuántos de nosotros hemos estado en un restaurante donde no hemos podido escuchar una conversación, o nos ha molestado el ruido de los vecinos en casa o en el trabajo, o hemos estado en una sala de reuniones en el trabajo donde la calidad de la luz era pobre, haciendo difícil trabajar?

Es ahí cuando nos damos cuenta de este tipo de cosas y empezamos a cuestionarnos si nuestros edificios son realmente confortables.

### ¿PORQUÉ CONSTRUIR EDIFICIOS MULTI-CONFORT?

Los Edificios Multi-Comfort ofrecen a sus ocupantes un incremento de productividad, salud y bienestar, protegiéndolos de los aspectos negativos del entorno exterior, como el ruido y los contaminantes. La calidad del aire interior en ellos es más saludable y ahorrarán dinero tanto en la factura energética, como en costes de mantenimiento.

### LOS 4 PILARES BÁSICOS DEL CONCEPTO MULTI-CONFORT

1. **CONFORT TÉRMICO:** Está determinado por la temperatura del aire, la humedad y las infiltraciones de aire. Los Edificios Multi-Comfort se mantienen a la temperatura adecuada con muy poca energía, sin precisar de radiadores en todas las habitaciones.
2. **CONFORT ACÚSTICO:** Se consigue teniendo en cuenta tanto las necesidades de los usuarios como una variedad de factores externos y arquitectónicos: las actividades a desarrollar, los tipos de ruido a controlar, el espectro de estos ruidos, los sistemas constructivos y los materiales empleados.
3. **CONFORT VISUAL:** Existen algunos factores claves a la hora de diseñar entornos visualmente confortables: disponer de luz natural en cantidad suficiente, disponer de vistas al exterior, combinar adecuadamente la iluminación natural y artificial y distribuir las de modo uniforme por todo el recinto. Los Edificios Multi-Comfort están llenos de luz natural, sin brillos, haciendo más cercano y fácil el trabajo y con colores vivos y reales.



4. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR: Viene determinada por algunos factores como el suministro de aire fresco, y la presencia de contaminantes y olores. Los edificios Multi-Comfort tienen un suministro constante de aire fresco, evitando habitaciones mal ventiladas y manteniéndote alerta todos los días.

### El confort se mide

A continuación se detallan los parámetros que definen un edificio Multi-Comfort:

Multi-Comfort DE SAINT-GOBAIN		Evaluación - Medida	Unidad	RESIDENCIAL Nueva construcción	RESIDENCIAL Rehabilitación	NO RESIDENCIAL Nueva construcción	NO RESIDENCIAL Rehabilitación
TÉRMICO		Demanda de calefacción y refrigeración	PH kWh / m <sup>2</sup> año o W/m <sup>2</sup>	< 15 kWh/m <sup>2</sup> año o 10 W/m <sup>2</sup>	< 25 kWh / m <sup>2</sup> año	< 15 kWh/m <sup>2</sup> año o 10 W/m <sup>2</sup>	< 25 kWh / m <sup>2</sup> año
		Energía Primaria	PH kWh / m <sup>2</sup> año	< 120 kWh / m <sup>2</sup> año		< 120 kWh / m <sup>2</sup> año	
		Humedad relativa	%	Verano 45-60% / Invierno 40-50%		Verano 45-60% / Invierno 40-50%	
		Over heating	PH %	Valor límite: 10%		Valor límite: 10%	
		Temperatura operativa	°C	Verano: 23-25 °C / Invierno: 21-23 °C		Verano: 23-25 °C / Invierno: 21-23 °C	
ACÚSTICO		Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos DnT,A	dBA	+ 3 dBA sobre la legislación vigente		+ 3 dBA sobre la legislación vigente	
		Aislamiento a ruido tráfico en habitación D2m,nT,Atr	dBA	+ 3 dBA sobre la legislación vigente		+ 3 dBA sobre la legislación vigente	
		Aislamiento acústico a ruido de impacto entre recintos LnT,w	dB	- 5 dBA sobre la legislación vigente		- 5 dBA sobre la legislación vigente	
		Tiempo de reverberación (Tr)	s	N/A		- Aulas y salas de conferencias - Vacíos ≤ 0,7 s; con butacas fijas ≤ 0,5 s - Comedores V < 350 m <sup>2</sup> ≤ 0,9 s	
		STI		N/A		Aulas > 0,75	
VISUAL		Daylight Autonomy (%)	%	9 am -17 pm 50 % 300 lux	Optimizar con vidrios	9 am -17 pm 50 % 300 lux	Optimizar con vidrios
DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR		CO <sub>2</sub> en el aire	ppm	< 800 ppm		< 800 ppm	
		TVOC	µg/m <sup>3</sup>	Concentración total de COV < 1000 µg/m <sup>3</sup> + niveles de formaldehído < 30 µg/m <sup>3</sup>		Concentración total de COV < 1000 µg/m <sup>3</sup> + niveles de formaldehído < 30 µg/m <sup>3</sup>	
		Estanqueidad (n50)	PH V/h @50 pa	< 0,6 V/h @50 pa	< 1 V/h @50 pa Objetivo < 0,6 V/h @50 pa	< 0,6 V/h @50 pa	< 1 V/h @50 pa Objetivo < 0,6 V/h @50 pa

Figura 1. Tabla descriptiva de indicadores de Confort.

#### El estándar Passivhaus y el concepto multi-confort

El estándar Passivhaus representa hoy en día el mayor estándar energético para edificios. Fue desarrollado desde la base de que la energía más barata y que menos contamina es aquella que no se consume. El concepto Multi-Comfort de Saint-Gobain combina el principio Passivhaus de entregar el máximo confort térmico reduciendo las emisiones de CO2, con el confort acústico, el visual, una calidad de aire interior elevada, la protección frente al fuego y la seguridad.

#### Ejemplos de edificios multiconfort: Villa Vera

El estudio 1403 ha desarrollado Villa Vera, una vivienda unifamiliar aislada en la se han incorporado una serie de estrategias, principalmente pasivas, que logran que la vivienda haya obtenido la calificación energética A y la

valoración de Muy Bueno en la certificación Breeam ES, siendo el primer edificio residencial en España en obtener dicha certificación.



Figura 2. Vista general del edificio.

Para el Estudio 1403, cuyos arquitectos son los promotores y propietarios de la vivienda, ha sido una experiencia piloto en la que poner en práctica sus conocimientos en arquitectura sostenible y eficiencia energética y, actualmente, en fase de uso, es objeto de estudio su comportamiento energético, para lo que se ha incorporado una serie de sensores que permiten monitorizarla y hacen posible el análisis y evaluación de los datos obtenidos.

#### **Emplazamiento y distribución de la vivienda**



Figura 3. Emplazamiento de la vivienda.

La parcela en la que se ubica se sitúa en la urbanización Calicanto en Chiva, Valencia, en la ladera de la montaña Calicanto. Una zona expuesta a fuertes vientos, al sol, a la humedad marina y al descenso de temperaturas nocturnas. Con estas condiciones, conseguir altas cotas de eficiencia energética no fue sencillo. La vivienda está diseñada para formar una unidad completa en planta baja adaptándose al desnivel del terreno de manera que tiene entrada directa desde el exterior en todos sus niveles.

#### **Estrategias de Ahorro Energético**

- Reducción de la demanda. Estrategias Pasivas
- Envoltente térmica de baja transmitancia térmica y alta inercia

La vivienda ha obtenido la calificación energética A gracias al cuidado de su envolvente y a la incorporación de estrategias pasivas como la inercia térmica, el aumento de espesores de aislamientos que superan a la construcción tradicional y la eliminación de puentes térmicos.

- Cond. térmica (U):  $0,26 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,73$  (CTE)
- Desfase térmico: 11,44 horas
- Atenuación/Amortiguamiento: 21%



Figura 4. Detalle de SATE en la envolvente.

La envolvente del edificio cuenta con materiales (vidrios y aislantes minerales) que permiten mejorar el aislamiento acústico de la vivienda.

#### **Carpinterías con RPT y vidrios selectivos**

La vivienda posee una orientación oeste coincidente con las vistas del paisaje circundante. Los vidrios son de control solar y/o bajo emisivos en función de la orientación lo que posibilita las vistas en orientación oeste. La carpintería es de aluminio con rotura de puente térmico.



Figura 5. Tratamiento de huecos.

- En las orientaciones este y oeste se ha utilizado vidrio PLANISTAR: Control solar + bajo emisivo. Conductividad térmica (U):  $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Factor luminoso: 71%. Factor solar: 0,38
- En las orientaciones norte y sur PLANITHERM: bajo emisivo. Conductividad térmica (U):  $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$

### **Cubierta ajardinada con aljibe**

La cubierta ajardinada con aljibe reduce las oscilaciones de temperatura en la cubierta. En verano se dificulta la entrada de flujo de calor al interior del edificio, gracias al efecto térmico que proporciona el tapiz vegetal y la capa de agua. En invierno la gran inercia térmica obstaculiza la pérdida de calor a través de la cubierta.

### **Protecciones solares**

Se han incorporado protecciones solares practicables en la fachada según la orientación: lamas verticales orientables, horizontales fijas y toldos enrollables.

## **Iluminación y ventilación natural**

La vivienda tiene unos niveles de iluminación natural muy confortables. Además dispone de huecos practicables en todas las orientaciones para favorecer la ventilación cruzada natural.

- La relación entre la superficie útil de recintos iluminados y la superficie de hueco:

Sup. Vidrio (m<sup>2</sup>) / Sup. Útil = 28,18% >10%

- Porcentaje de la vivienda iluminada a través de huecos:

Sup. iluminada (m<sup>2</sup>) / Sup. Útil = 96,22% >30%

## **Instalaciones de climatización eficientes**

Se ha incorporado un sistema de recuperación de calor con posibilidad de by-pass que permitirá tener la vivienda adecuadamente ventilada en todo momento y permite minimiza las pérdidas o ganancias de calor debidas a la renovación del aire.



*Figura 6. Sistemas de climatización.*

La instalación de climatización es por suelo radiante – refrescante con el apoyo de dos fancoils, un sistema de baja temperatura muy eficiente y adecuado para la configuración espacial de la vivienda. El sistema de climatización es híbrido, es decir, cuenta con dos equipos: una unidad exterior tipo bomba de calor que funciona con electricidad y una caldera de gas natural, incorporando un dispositivo de control que permite que entre automáticamente en funcionamiento el equipo más eficiente en cada momento.

También se ha instalado un sistema de Ventilación Mecánica apoyado por un pozo canadiense con intercambio de calor tierra-aire a 30 metros que fuerza la entrada de aire nocturno atemperado en verano para refrescar la vivienda.

### Monitorización de la vivienda en uso

La vivienda, que se ha ejecutado en estrecha colaboración con la empresa Saint-Gobain, servirá como banco de pruebas para evaluar la respuesta del edificio ante las condiciones climáticas y los hábitos de los usuarios. Por ello se han instalado sensores tanto exteriores como interiores que registran periódicamente parámetros relativos a temperatura, humedad y calidad de aire, viento, así como en las instalaciones para conocer los consumos de energía y agua con el objetivo de analizar y extraer conclusiones de su funcionamiento.

Esta monitorización permitirá investigar y analizar cómo influyen determinados sistemas o elementos en el comportamiento energético global de la vivienda:

## RESULTADOS OBTENIDOS

### Energy balance\*



**Energy consumption:**  
3,710 kWh/m<sup>2</sup>.yr

**Energy balance:**  
2,580 kWh/m<sup>2</sup>.yr



**Energy production:**  
1,130 kWh/m<sup>2</sup>.yr

**Estimated CO2 savings:**  
208kg CO2 per year

### Daylight Autonomy



**Kitchen – living room  
(DA>300lux 0800 - 1800)**

89%

**Other rooms  
(DA>300lux 0800 - 1800)**

between 66% and 91%

### Thermal performance

#### Average inside temperature:

Summer: N/A  
Winter: 18°C - 19°C

### Acoustic Performance

#### Kitchen – living room:

39 dB

#### Room 1 (west orientation):

36 dB

#### Room 2 (north orientation):

39 dB

#### Room 3 (east orientation):

37 dB

\*\* Difference between external and internal noise levels.

Figura 7. Resultados obtenidos.

## CONCLUSIONES

El estándar Multi-Confort, permite diseñar y construir EECN, a la vez que tiene en cuenta otros aspectos críticos para el usuario final, como son el Confort acústico, visual, térmico y de calidad del aire interior.

La especificación final no sólo debe optimizar el consumo de energía, sino principalmente proporcionar confort al usuario. Por lo tanto, es importante comprender los principios básicos de los diversos fenómenos en cuestión y cómo las características de los materiales especificados influirán en el rendimiento del edificio en toda su complejidad y variaciones estacionales.

## APRENDIENDO DE LA PRIMERA GENERACIÓN DE EECN - CASOS DE ESTUDIO DE EDIFICIOS CORPORATIVOS

**Xabier Barrutieta Basurko**, Arquitecto doctorando Investigador Grupo Caviar, Universidad País Vasco UPV/EHU y Socio Director, Barru Arkitektura

**Resumen:** Durante los primeros años de este siglo y especialmente a partir de su segunda década, se han construido una serie de EECN en todo el mundo, y especialmente en Europa, que han querido ir más allá de la regulación normativa del momento y adelantarse a su tiempo. Estos primeros años de experiencia los podemos considerar como la primera generación de los EECN. El presente artículo presenta una serie de edificios EECN de una tipología concreta: los edificios corporativos. Durante este tiempo se han proyectado, construido y puesto en funcionamiento un número importante de edificios guiados por este paradigma de los que ya hay datos de su fase operativa. Tomando como referencia los estudios internacionales más relevantes realizados hasta la fecha, se presentan y analizan los datos de consumos reales de una selección de edificios y se incorporan los datos del Edificio Zero en el País Vasco.

**Palabras clave:** Casos de Estudio EECN, NZEB, Edificio Zero

### INTRODUCCIÓN

Las directivas europeas sobre la eficiencia energética en edificación marcan la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el sector de la construcción de forma cada vez más estricta. La directiva 2010/31/UE definió de forma genérica los aspectos básicos de un nuevo tipo de edificio de bajo consumo energético con el objetivo de adaptar de forma paulatina el sector de la construcción hacia un menor consumo energético y de reducción drástica de emisiones de gases de efecto invernadero. En síntesis, estos principios son la limitación de la demanda energética del edificio, maximizar el uso de energías renovables y la generación próxima al edificio de dicha energía.

### Motivación

Estos primeros años de experiencia los podemos considerar como la primera generación de los NZEB tras su definición por la normativa europea. Durante este tiempo se han proyectado, construido y puesto en funcionamiento un número importante de edificios guiados por este paradigma. Estos edificios se han etiquetado bajo un amplio número de adjetivos como sostenibles, bioclimáticos, de alta eficiencia energética, verdes, pasivos, de cero emisiones, ecotecnológicos etc., que responden a una serie de objetivos comunes en el sentido amplio, aunque con matices en cada caso. Muchos de estos proyectos fueron anunciados y presentados como verdaderamente revolucionarios y paradigmáticos, con ahorros energéticos insólitos y extraordinarios.

La investigación parte del hecho de la curiosidad de contrastar si en la realidad se han cumplido las expectativas anunciadas, en aprender de las estrategias más exitosas y también de los posibles errores. Al fin y al cabo no hay milagros, y el objetivo de los EECN parte de la capacidad para implementar mejoras graduales basadas en el conocimiento y las posibilidades tecnológicas de cada tiempo.

### Primera generación NZEB-EECN

En los últimos años son cada vez más los edificios NZEB que se han construido por el mundo, en multitud de climas, entornos culturales y sociales diversos. Especialmente a partir de la segunda década del siglo XXI, se han construido una serie de edificios en todo el mundo, que han querido ir más allá de la regulación normativa del momento y adelantarse a su tiempo implementando a su situación el concepto NZEB y desarrollando sus posibilidades de forma integral.

El término de “Primera generación de NZEB” se acuña para denominar a los edificios construidos en la etapa correspondiente aproximadamente desde 2008 a 2013, es decir, en torno la publicación de la primera Directiva Europea de referencia en este campo hasta la primera fecha propuesta para la consecución de este objetivo gradual de NZEB.

### Simulación y realidad

Existen numerosas publicaciones sobre la temática de los nZEB, pero la mayoría de esos estudios se basan en teoría y simulaciones. En este contexto, se echa de menos una lectura crítica sobre la fase de operaciones de esos edificios que

presente el grado de satisfacción de las soluciones de diseño adoptadas y su eficacia. [1] En cada edificio la literatura destaca ciertos aspectos relativos a su diseño pasivo, indicadores energéticos, fuentes renovables de energía etc. pero no resulta fácil obtener la visión de conjunto del planteamiento del edificio.

## **Selección de casos de estudio comparables**

En los edificios de Energía Casi Nula la demanda energética del edificio está estrechamente ligada a su situación geográfica y climática. Existen varios factores relevantes como las soluciones tanto de diseño pasivo como activo, el mix energético instalado y las soluciones constructivas, que deben ser estudiadas y comparadas en el marco de unas condiciones climáticas concretas.

En el caso del clima del País Vasco es un aspecto que necesita ser investigado más en profundidad porque la documentación sobre casos de estudio documentados es muy escasa. En este sentido, también sería deseable contar con casos de estudio NZEB, que estando en otras latitudes geográficas, pudieran ser comparables por su similar demanda y prestaciones en base a ciertas tipologías concretas de edificios.

## **EDIFICIOS CORPORATIVOS EECN**

### **Consideraciones sobre su tipología**

Los casos de estudio seleccionados para esta investigación son edificios de uso no residencial, dedicados al uso de oficinas o corporativo. Estos edificios tienen la singularidad de ser los que más energía consumen junto con los edificios educativos y docentes.

Su uso es principalmente de día y coincide con los periodos de radiación solar. Este hecho representa una diferencia sustancial respecto a otras tipologías, ya que permite acoplar las horas disponibilidad de radiación solar a las horas de mayor demanda de energía térmica y eléctrica del edificio. La demanda diferida que se produce en los edificios residenciales en los periodos nocturnos no es un problema en este caso. Este factor significa, a priori, que la energía proveniente de fuentes solares renovables es más fácilmente integrable que en otro tipo de edificios.

### **Selección de casos de estudio de referencia para el País Vasco**

Los casos de estudio disponibles en la literatura son mayoritariamente de climas del norte de Europa, donde la demanda de calefacción es la dominante. Hoy en día también existen unos cuantos ejemplos documentados de edificios en la zona sur de Europa donde se disfruta de un clima más templado, como es la región mediterránea. En estos países dominados por la necesidad de refrigeración frente a otras demandas deben tener en cuenta otras estrategias como la inercia, la masa y los efectos de retardo temporal en el comportamiento de la envolvente del edificio. [2]

Existe una zona intermedia, donde se sitúa el País Vasco, con un clima atlántico que es diferente a los climas del norte de Europa y al clima mediterráneo cálido. Este clima mixto hace que las estrategias de diseño pasivo y bioclimático, así como los sistemas energéticos empleados sean diferentes a los anteriores casos.

Para poder realizar una segmentación de los casos de estudio según su zona climática se ha tomado como referencia el estudio más amplio a nivel mundial realizado hasta la fecha, el Towards Zero Energy Solar Buildings [3] realizado con 2014. Este estudio impulsado por la IEA (International Energy Agency) y varias universidades ha tenido como objetivo recopilar soluciones integradas a nivel de edificio en Edificios de Energía Casi Nula que ha identificado más de 200 casos de estudio de NZEBs y los ha geoposicionado en un mapa global [4].

Resulta interesante observar que su clasificación no ha sido estrictamente en base a su zona climática geográfica, sino que han optado por hacerlo en referencia al porcentaje de demanda entre calefacción y refrigeración. De esta forma los proyectos se identifican en cuanto a si están dominados por la refrigeración, por la calefacción o por la combinación de ambos.

Estos casos de estudio se agrupan en cuanto a su uso contemplando si son de uso residencial o no, de tal forma que los de referencia para esta investigación relativa a los edificios corporativos resultan ser una parte de los casos de estudio seleccionados como no residenciales y que se encuentran en los climas templados. En este caso la investigación se centrará en la comparativa entre estos edificios:

1. Pixel Building, AU
2. Eithis Tower, FR
3. Green Office, FR
4. Meridian, NZ
5. Solar XXI, PT
6. Circe, ES
7. Edificio Zero, ES

## COMPARATIVA DE CASOS DE ESTUDIO

### Datos y discusión

A través de esta investigación se busca poner en contexto el Edificio Zero, un Edificio de Energía Casi Nula construido y que se encuentra ya en funcionamiento en el País Vasco en relación a las experiencias análogas que se están obteniendo en el contexto internacional.

Para ello se han seleccionado una serie de datos que son comunes y habituales en las descripciones de este tipo de edificios, a fin de poder evaluarlos comparativamente y realizar lecturas críticas. En la tabla adjunta se pueden observar los datos disponibles de cada edificio.

NOMBRE	PAIS	AÑO DE CONSTRUCCION	M2 CLIMATIZADOS	DEMANDA ENERGÍA FINAL CALEFACCION kWh/m2a	COMBUSTIBLE	DEMANDA FINAL ELECTRICIDAD kWh/m2a	GENERACION FOTOVOLTAICA kWh/a	GENERACION FOTOVOLTAICA kWh/m2a	ENERGIA FOTOVOLTAICA kWh/a.m2 CLIMATIZADOS
PIXEL BUILDING	AUSTRALIA	2010	837	35	GAS	57	6.665	7,96	7,96
EITHIS TOWER	FRANCIA	2009	4.500	11	BIOMASA	38	185.760	41,28	41,28
GREEN OFFICE	FRANCIA	2011	21.500	43	BIOMASA	38	427.850	19,90	19,90
MERIDIAN	NUEVA ZELANDA	2007	4.795	48	.	98	0	0,00	0,00
SOLAR XXI	PORTUGAL	2006	1.200	43	.	24	37.960	31,63	31,63
CIRCE	ZARAGOZA, ESP	2010	1.700	20	NATURAL GAS	87	7.322	4,31	4,31
EDIFICIO ZERO	HERNANI, ESP	2013	11.000	35	BIOMASA	17	229.000	20,82	20,82

Tabla I. Comparativa de Casos de Estudio de Edificios Corporativos EECN.

Se han tomado como referencia los datos correspondientes a la demanda de Energía Final, ya que los factores de conversión resultan muy divergentes según en qué países y se corre el riesgo de desvirtuar el estudio.

En esta investigación se proponen una serie de indicadores combinados elaborados para esta tipología de Edificios Corporativos a fin de poder realizar una comparativa más específica.

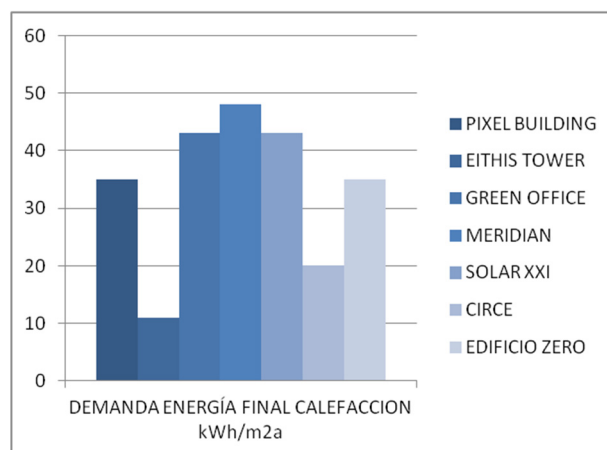


Figura 1. Comparativa de la demanda de energía final de calefacción.



**Demanda de energía final de calefacción**

Como primer dato, en la tabla adjunta se observa que el rango de demanda de calefacción por metro cuadrado se sitúa entre 11 y 43 kWh/m2a, por lo que se desprende que la calidad de la construcción respecto al aislamiento térmico es comparativamente consistente.

En esta demanda se incluyen los apartados relativos a la directiva EPBD, es decir, calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación para los casos de edificios de oficinas. En el caso de los edificios que cuentan con calefacción y refrigeración a baja temperatura se evita el alto consumo eléctrico de las plantas de refrigeración.

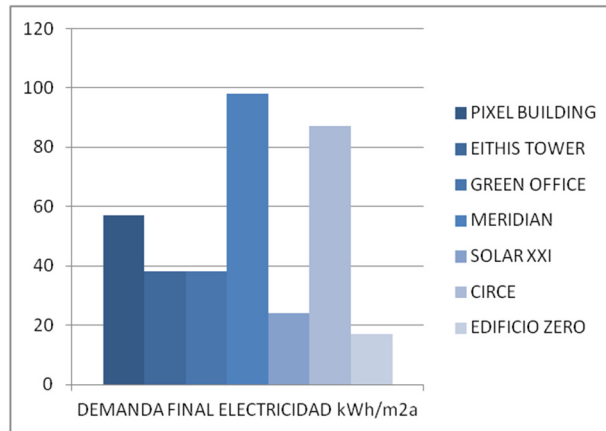


Figura 2. Comparativa de la demanda de energía final de electricidad.

**Generación eléctrica fotovoltaica por superficie climatizada y año**

Este índice es el resultado de una combinación de varios factores y tiene la finalidad de medir la capacidad de generar energía solar fotovoltaica por m2 de superficie climatizada del edificio, lo que da pie a medir el grado de aprovechamiento de la envolvente del edificio para integrar paneles solares fotovoltaicos.

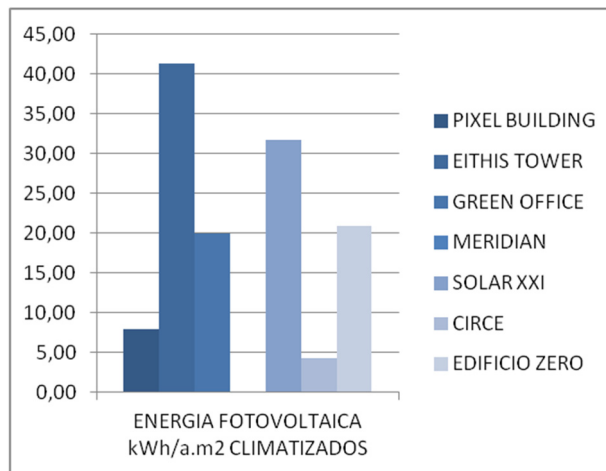


Figura 3. Comparativa de la energía fotovoltaica generada por m2 y año.

Como conclusión, resulta una buena posición media el hecho de generar en torno a 20 kWh/m2a de energía solar. El edificio que corresponde al valor que destaca sobre el resto incorpora varios sistemas de captación solar en todas las orientaciones del edificio.

## Edificio Zero. Singularidades

La investigación pretende dotar de un marco comparativo internacional y sólido al caso de estudio del Edificio Zero. En este sentido cabe destacar varios aspectos singulares a considerar.

La demanda total anual de energía eléctrica para su acondicionamiento siguiendo las directrices de la directiva europea que considera (calefacción, refrigeración y ACS e iluminación en el caso de edificios de oficinas) del edificio Zero se produce a través de las placas instaladas en su cubierta inclinada, podemos concluir que la energía producida a través del sol significa el 105% del consumo, por lo que Zero llegaría a ser un **edificio de energía positiva**.

Considerando todo el mix de generación de energía, las únicas emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen relativas al edificio Zero son las correspondientes al consumo eléctrico de la propia instalación del District Heating-Cooling que es 100% renovable. Si se tiene en cuenta la reducción de la demanda por la aportación de la cubierta fotovoltaica de Zero, las emisiones del resto de energía eléctrica para cubrir la demanda de Energía Base (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación) han sido de tan solo **0,29 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>** durante el año 2015.

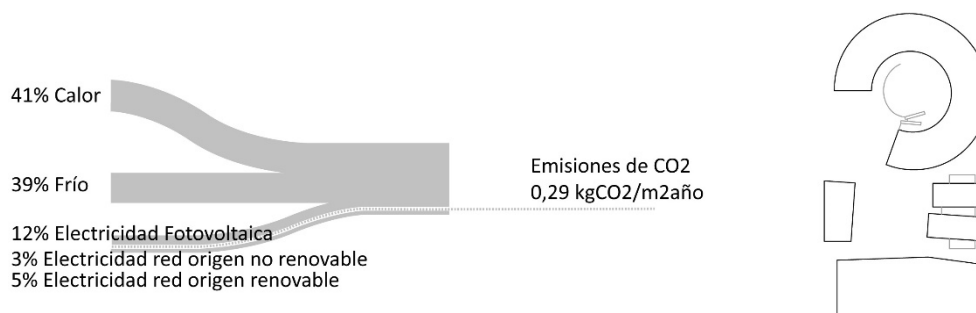


Figura 4. Energía Final consumida en el Edificio Zero y reflejada en % de kWh y emisiones globales de CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

Esta investigación comparativa entre varios casos de estudio EECN a nivel mundial ha servido para situar en un rango comparativo con edificios de la misma tipología al edificio Zero. En cada edificio la literatura destaca ciertos aspectos relativos a su diseño pasivo, indicadores energéticos, fuentes renovables de energía etc. pero no resulta fácil obtener la visión de conjunto del planteamiento del edificio.

Existen numerosas publicaciones sobre la temática de los EECN, pero la mayoría de esos estudios se basan en teoría y simulaciones. En este contexto, se echa de menos una lectura crítica sobre la fase de operaciones de esos edificios que presente el grado de satisfacción de las soluciones de diseño adoptadas y su eficacia. [5]

Aunque existen varios estudios comparativos con metodologías propias en este campo, se echa en falta una metodología común para poder evaluar los edificios de forma transversal, sobre unos criterios claros en cuanto al modelo de EECN buscado.

## Notas finales

- [1] Zhou, Z., Feng, L., Zhang, S., Wang, C., Chen, G., Du, T., Zuo, J. (2016). The operational performance of “net zero energy building”: A study in china. *Applied Energy*, 177, 716-728. doi:10.1016/j.apenergy.2016.05.093
- [2] Ascione, F., Bianco, N., Böttcher, O., Kaltenbrunner, R., & Vanoli, G. P. (2016). *Net zero-energy buildings in germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in berlin* doi:10.1016/j.enbuild.2016.10.019
- [3] Definition of common principles, & under the, E. *Towards nearly zero- energy buildings*
- [4] Elke Mussal. Net zero energy buildings - worldwide. Retrieved from <a href 'http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings' target='\_blank'>http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings</a>
- [5] Zhou, Z., Feng, L., Zhang, S., Wang, C., Chen, G., Du, T., . . . Zuo, J. (2016). The operational performance of “net zero energy building”: A study in china. *Applied Energy*, 177, 716-728. doi:10.1016/j.apenergy.2016.05.093

# ESTRATEGIAS MUNICIPALES INTEGRALES CON CRITERIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO – APLICACIÓN EN BADIA DEL VALLÈS, BARCELONA

**Ana Romero Calix**, Responsable Servicio de Sostenibilidad y Educación, Àrea Metropolitana de Barcelona  
**Gil Lladó Morales**, Técnico de Energía, Àrea Metropolitana de Barcelona  
**Julia Hereza Atienza**, Àrea Metropolitana de Barcelona

**Resumen:** El proyecto llevado a cabo por la Dirección de Servicios Ambientales de la AMB diseña un plan de actuaciones integral para la implementación de criterios de consumo de energía casi nulo en la totalidad de edificios destinados a viviendas de un municipio metropolitano, además de incidir sobre cuestiones relacionadas con la pobreza energética y de generación de actividad económica en el municipio. Además, también se analizan diferentes fuentes de financiación de las actuaciones previstas para evaluar su viabilidad económica. Se escoge Badia del Vallès como municipio piloto para la implementación de estrategias NZEB por sus características socio-económicas y por disponer de un parque edificatorio que se puede caracterizar muy bien en 4 tipologías. Es importante plantear una estrategia integral en todo el municipio para generar ejemplo y que la población lo pueda percibir como un valor patrimonial en vez de actuar de forma aislada en un edificio, además permite plantear otro tipo de inversiones en los edificios y posibilita el planteamiento de planes de ocupación a nivel local. Con carácter general las medidas propuestas se centran en la envolvente térmica y en la instalación de energía solar térmica y fotovoltaica. Con la realización de estas actuaciones se obtendría una importante reducción de la demanda energética (75%) pasando de una calificación energética D a una B. El coste de la inversión sobre la totalidad del municipio sería de alrededor de 60 M€ (PEC IVA excluido), consiguiendo una amortización en 18 años en el caso de contar con subvención pública del 50%.

**Palabras clave:** Ahorro Energético, Eficiencia Energética, Energía Casi Nula, Energyplus, Estrategias municipales, Municipios NZEB, Rehabilitación NZEB

## INTRODUCCIÓN

Con el fin de promover la competitividad, la sostenibilidad y la seguridad del suministro energético, la Comisión Europea ha elaborado una serie de políticas y medidas. En el marco legislativo actual, la Directiva Europea 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, establece como objetivo para el 31 de diciembre de 2020 que todos los edificios nuevos tengan un consumo de energía casi nulo. Para edificios públicos este objetivo se adelanta dos años, a 31 de diciembre de 2018.

En España, el sector de la edificación es uno de los que consume mayor cantidad de energía generando alrededor de un 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> Europeas, de ahí la importancia de implementar la normativa a edificios ya existentes con el fin de mejorar su eficiencia y avanzar hacia una transición energética sostenible. A partir de los estudios de viabilidad de rehabilitación NZEB (nearly Zero-Energy Buildings) en equipamientos públicos realizados durante 2015 por el Área Metropolitana de Barcelona, se considera imprescindible hacer un salto de escala en los planeamientos de rehabilitación NZEB. El presente proyecto pretende avanzar hacia un diseño de estrategias integrales basadas no únicamente en un solo edificio, sino en la totalidad de los tejidos urbanos de las ciudades o barrios metropolitanos.

Este primer estudio se centra en el municipio de Badia del Vallès. Este municipio se creó en los años 70, bajo una actuación destinada a generar un importante número de viviendas de protección oficial, en un área de gran concentración industrial y con crónicos problemas de vivienda. La forma de construcción de las viviendas fue mediante un modelo de prefabricación pesada de patente francesa. El sistema se basaba en la utilización de plafones de hormigón enlazados mediante un sistema de juntas gruesas hormigonadas "in situ". Estos plafones prefabricados estaban formados por un sándwich que incluía un aislamiento interior de poliestireno expandido de 3 cm de grosor. Desde el punto de vista térmico el sistema de cerramientos supera en mucho a los aislamientos tradicionales de la época. La transmitancia térmica media es de 1,1 W/K·m<sup>2</sup>, lo que supone un valor muy inferior a la máxima permitida por la NBE-CT 79 o la NRE-CT 87, que era de 1,60 W/K·m<sup>2</sup>. Al ser el parque edificatorio constituido en su totalidad por viviendas de protección oficial, hace que los habitantes del municipio que más prosperan y acceden a sueldos más elevados no puedan mantener su residencia en él, por lo que la población de Badia del Vallès siempre está en una posición de vulnerabilidad frente a las consecuencias de la pobreza energética.

El proyecto tiene como objetivo principal la reducción del consumo energético del parque edificado de la ciudad y así, transformar los edificios existentes a edificios de estándar NZEB mediante:

- Reducción de la demanda energética
- Reducción del consumo de energía primaria no renovable
- Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq

Así mismo, el objetivo de transformar Badia del Vallès en una ciudad NZEB, tiene asociado otros valores importantes que deben considerarse como objetivos secundarios:

- Mejorar las condiciones de confort térmico de los usuarios
- Mejorar las condiciones de confort, habitabilidad i salud de las viviendas
- Mitigar la pobreza energética en el municipio
- Luchar contra la exclusión por edad, económica o social

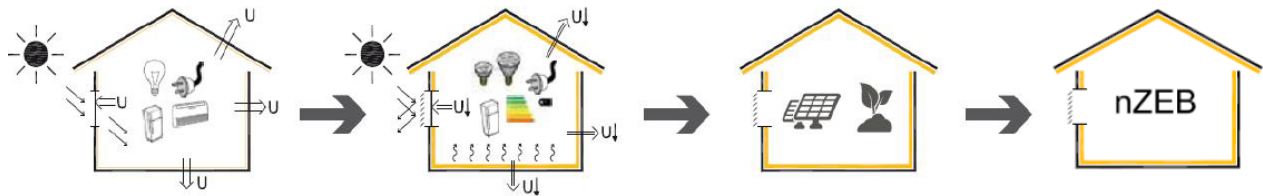


Figura 1. Camino hacia un edificio nZEB | Fuente: Associació LIMA, AMB (2016).

Respecto a la definición del concepto NZEB en este proyecto se ha tenido en cuenta la definición que se da en la Directiva Europea 2010/31 EU del 19 de mayo del 2010 donde se dice “Edificio con un nivel de eficiencia energética muy bajo, la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida será cubierta en muy amplia medida por energía procedente de Fuentes renovables producida in situ o en el entorno. A nivel español a fecha de hoy aún no existe ninguna legislación que transponga esta directiva europea en normativa, ni para nuevas edificaciones y menos aún para rehabilitaciones.

Para la cuantificación del objetivo principal se ha establecido una definición provisional de NZEB pensada para Badia del Vallès. Se trata de obtener una calificación energética con la aplicación del programa oficial HULC con los siguientes valores:

- Demanda energética de calefacción: **B**
- Demanda energética de refrigeración: **B**
- Consumo de Energía primaria no renovable: **A**
- Emisiones de CO<sub>2</sub>eq: **A**

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Tipologías y modelos edificatorios

El parque edificado de Badia del Vallès está formado por un total de 5.372 viviendas repartidas en 208 edificios los cuales se pueden catalogar según tres tipologías principales abarcando el 90% del total, el bloque Alcalà, el bloque Estrella y el bloque en H. Estas tres tipologías están estructuradas según diferentes orientaciones y alturas, generando situaciones diferentes dentro de una misma tipología.




Tipología de bloque	Características	Plantas	Orientación	% tot
Bloque Alcalà 	84 edificios con dos viviendas por rellano  Viviendas no accesibles: ascensores a un rellano intermedio	PB+8PP: 16 viviendas por bloque  PB+10PP: 21 viviendas por bloque	N 40º N 130º N 220º N 310º N 0º N 180º	25%
Bloque Estrella 	48 edificios con seis viviendas por rellano.  Accesos desde el núcleo central. Sin ascensores.	PB+4PP: 28 viviendas por bloque	Una sola orientación	26%
Bloque en H 	49 edificios con cuatro viviendas por rellano.  Bloques Alcalà unidos simétricamente por un núcleo de escala	PB+8PP: 16 viviendas por bloque  PB+10PP: 21 viviendas por bloque	N 40º N 130º N 220º N 310º N 0º N 180º	39%

Tabla I. Características del parque edificado de Badia del Vallès | Fuente: elaboración propia, AMB (2017).

## Metodología

Para evaluar los efectos de las propuestas de mejora sobre los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub>eq, se han realizado simulaciones energéticas con el software *EnergyPlus*, que permite modificar los perfiles de uso, la ocupación, las temperaturas de consigna de calor y frío, así como la ventilación según hábitos reales. El modelo de trabajo ha seguido la metodología *bottom-up*, es decir, a partir de un estudio detallado y la modelización de un número limitado de edificios reales, el estudio intenta definir el funcionamiento de un edificio medio, que sea extrapolable al conjunto de las edificaciones del municipio. Previamente se ha realizado una caracterización de las edificaciones existentes, estableciendo tipologías por usos, modelos constructivos y características del emplazamiento. Los resultados obtenidos de la simulación se han contrastado con los consumos reales de las viviendas del municipio con el fin de verificar la validez de los datos obtenidos y, el rango de ajuste entre éstos y la realidad.

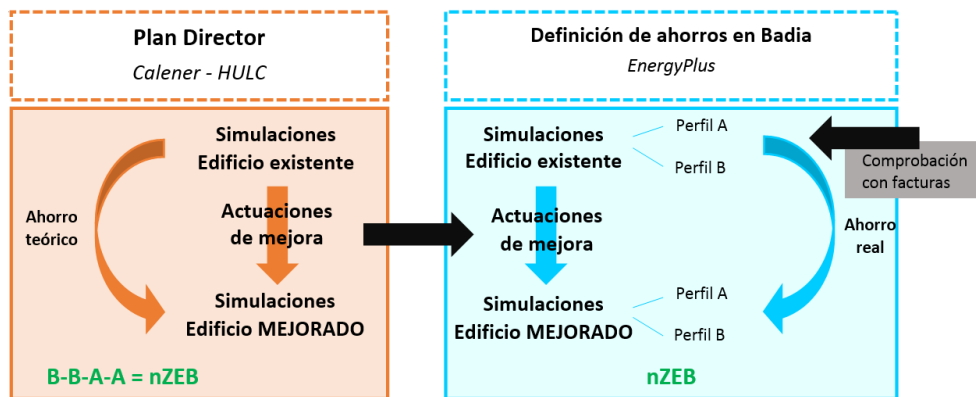


Figura 2. Esquema del desarrollo del trabajo realizado con las herramientas HULC y EnergyPlus | Fuente: Associació LIMA, AMB (2016).

La simulación del comportamiento de los edificios se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

- a) **Determinación de las tipologías y sistemas constructivos utilizados:** búsqueda de fuentes documentales y visitas in situ del bloque de las viviendas.
- b) Elaboración de un cuestionario básico y evaluación de los resultados para **determinar los perfiles** de ocupación, la distribución de sistemas de climatización, cocina y producción de ACS.
- c) Simulación del estado inicial con el programa **EnergyPlus**, con ocupaciones, temperaturas de consigna y horarios de acuerdo al uso real de las viviendas (2 perfiles de uso):
  - o **Perfil A:** ocupación permanente, principalmente concebida como vivienda de gente mayor y/o familias con al menos un adulto sin ocupación laboral externa.
  - o **Perfil B:** ocupación intermitente, concebida como vivienda en la cual durante algunas horas al día no hay nadie debido a una ocupación laboral externa.
- d) **Verificación** de los datos de consumo simulados, según el punto c) con los datos de consumo reales facturados.
- e) **Simulación** de los edificios existentes **con el programa oficial HULC** y definición de la combinación de medidas de mejora a aplicar para conseguir el **objetivo B-B-A-A**.
- f) **Simulación (EnergyPlus)** del estado final del edificio una vez aplicadas las medidas de mejora. **Cálculo de los consumos finales y determinación del ahorro ambiental y económico.**
- g) Determinación de los sistemas de **energías renovables** a instalar.
- h) Cálculo de la **reducción de los consumos de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> eq** asociadas.

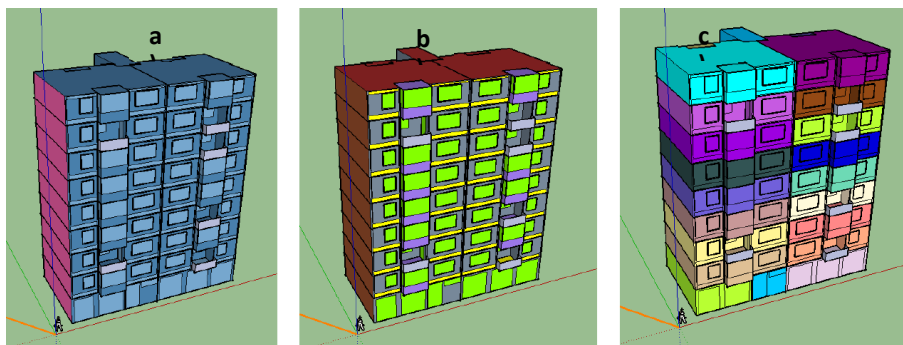


Figura 3. Simulación realizada con EnergyPlus sobre la tipología de bloque Alcalá. a) Condiciones de contorno, b) Materiales, c) Zonas térmicas, Fuente: Associació LIMA, AMB (2016).

## RESULTADOS

Para transformar un conjunto residencial de los años 70 en un conjunto de edificios NZEB, es necesario aplicar una estrategia global que incluya todas las opciones de mejora energética disponibles. El presente estudio muestra la necesidad de actuar sobre la demanda, mejorando las prestaciones de la envolvente e incorporando sistemas de generación de energías renovables tanto solar-térmica como fotovoltaica. Por lo contrario, en referencia a la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones, en especial el cambio de calderas convencionales a otras de condensación, solo resulta significativo en el caso de tener demandas altas, perdiendo su potencial de ahorro una vez la demanda se ve reducida. En este sentido, los posibles incentivos para la compra de equipos de mayor eficiencia deberían reservarse para la sustitución de equipos obsoletos una vez acabada su vida útil. Otro posible eje de mejora de la eficiencia energética como la reducción de la demanda de ventilación mediante la recuperación de calor en edificios residenciales solo tiene sentido en situaciones de clima muy fríos, no resultando de utilidad en el presente caso de estudio. De acuerdo a estas consideraciones, las actuaciones propuestas, pasivas y activas, incluyen los siguientes aspectos:

- **Mejora de la envolvente térmica:** Comprende el aislamiento exterior de fachadas y cubiertas y la sustitución de las ventanas y sistematización de las protecciones solares.
- **Incorporación de producción solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS):** Se aprovecha la cubierta del edificio para la producción de agua caliente sanitaria distribuida mediante intercambiadores individuales en cada vivienda

- **Incorporación de producción eléctrica fotovoltaica:** Se prevé el aprovechamiento de la superficie libre que deje la instalación solar térmica con energía solar fotovoltaica para reducir el consumo de energía primaria y de emisiones asociadas.

La actuación de rehabilitación energética para alcanzar el objetivo NZEB teniendo en cuenta las intervenciones de mejoras necesarias, requiere una inversión promedio de 10.500 € por vivienda, que representa una inversión cercana a los 60 millones de euros para la totalidad del conjunto de viviendas del municipio de Badia del Vallès.

	Bloque Alcalà	Bloque Estrella	Bloque H	Otros	Inversión total (M€)
<b>Aislamiento exterior de fachada y cubierta. Instalación de ventanas con RTP</b>					
<i>Inversión (€/vivienda)</i>	8.910 €	7.420 €	8.574 €	8.910 €	<b>45,08 M€</b>
<i>Ahorro de consumo (%)</i>	40,17 %	48,31 %	40,35 %	40,05 %	
<b>ACS solar - térmica</b>					
<i>Inversión (€/vivienda)</i>	2.412 €	2.178 €	2.155 €	2.412 €	<b>12,09 M€</b>
<i>Ahorro de consumo (%)</i>	27,85 %	24,60 %	27,57 %	29,35 %	
<b>Fotovoltaica</b>					
<i>Inversión (€/vivienda)</i>	454 €	454 €	341 €	454 €	<b>2,2 M€</b>
<i>Ahorro de consumo (%)</i>	7,06 %	4,24 %	3,52 %	5,07 %	
<b>Total nZEB</b>					
<i>Inversión (€/vivienda)</i>	11.777 €	10.053 €	11.070 €	11.776 €	<b>59,38 M€</b>
<i>Ahorro de consumo (%)</i>	75,08 %	77,15 %	71,43 %	74,46 %	

Tabla II. Inversión y retorno de la rehabilitación energética según vivienda y tipología de bloque | Fuente: elaboración propia, AMB (2017).

La rehabilitación energética del parque edificado también produce impactos económicos indirectos, sociales y ambientales los cuales es importante tener en consideración. En estos, se incluyen la mitigación de la pobreza energética que a la vez, permite una mejora de la salud de las personas, y la mejora ambiental del entorno derivada de la intervención arquitectónica y del uso de energías renovables. Se presentan los resultados para el Perfil de ocupación A, puesto que es muy mayoritario en el municipio (más del 80% de viviendas). Para el estudio se ha considerado la inversión total según tipología de edificio teniendo en cuenta 3 escenarios de rentabilidad y retornos: 0% y 50% de subvención pública.

	Bloque Alcalá	Bloque Estrella	Bloque en H	Otros
<b>Con 0% subvención pública</b>				
<i>TIR 15 años</i>	-10,14%	-8,38%	-9,74%	-10,69%
<i>TIR 20 años</i>	-5,00%	-3,53%	-4,67%	-5,46%
<i>TIR 30 años</i>	-0,32%	0,82%	-0,06%	-0,66%
<i>Pay-Back (años)</i>	31	28	30	32
<b>Con 50% subvención pública</b>				
<i>TIR 15 años</i>	-3,23%	-1,06%	-2,75%	-3,90%
<i>TIR 20 años</i>	0,79%	2,63%	1,20%	0,23%
<i>TIR 30 años</i>	4,18%	5,65%	4,51%	3,74%
<i>Pay-Back (años)</i>	19	17	19	20

Tabla III. Escenarios de rentabilidad y retorno de inversiones globales para alcanzar los objetivos nZEB en función de los diferentes escenarios de subvención pública | Fuente: elaboración propia, AMB (2017).

Para estudiar el encaje financiero de las actuaciones se ha realizado una prospección sistematizada de instrumentos financieros mediante la celebración de reuniones y análisis de 51 entidades distintas. Estas se pueden dividir en fuentes de financiación tradicionales (Capital Risc – Fondos de inversión especializados y financiación bancaria) o fuentes de financiación alternativas (Banca Ética i Social, crowdfunding, crowlending y equitycrowdfunding), analizando que parámetros aceptarían para la financiación de las inversiones. Se han estudiado los parámetros de titularidad, tipología de proyecto (mejoras activas, pasivas o energías renovables), plazos de financiación, tipos de interés a aplicar, garantías e importes máximos a financiar. Por otra parte también se ha considerado la posibilidad de financiación pública a partir de fondos europeos (FEDER, PLAN JUNCKER), estatales (PAREER, PLAN VIVIENDA), autonómicos (ICAEN, Secretaria Habitatge) y locales con el objetivo de que el usuario no soporte cargas económicas adicionales

derivadas del proyecto. Con la realización de las actuaciones se conseguiría una reducción del 68% de la demanda de calefacción, del 75% del consumo de energía primaria y del 74% de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq, aunque para mejorar las condiciones de confort de los usuarios de las viviendas se incrementaría ligeramente el consumo para refrigeración (9%). En el municipio de Badia del Vallès esto implicaría un ahorro de **23 GWh/año** y de **4.200 tCO<sub>2</sub>eq/año**.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con la caracterización del parque edificado se ha podido observar que las viviendas tienen demandas y consumos energéticos bajos, inferiores a los previstos según la tipología y época de construcción, debido a la tecnología y materiales que se emplearon en su construcción. En este caso, los bajos valores iniciales de consumo hacen que la intervención para alcanzar los objetivos NZEB produzca pay-back de 40-50 años a pesar de que los ahorros son elevados (superiores al 68%). Este hecho motiva que el proyecto requiera de subvenciones públicas superiores al 60% para plantear períodos de retorno inferiores a 20 años. Por lo tanto, este modelo puede ser viable de forma puntual para intervenciones poco numerosas, pero no puede ser aplicado a un conjunto de viviendas con consumos, tipologías constructivas y clima similares al estudiado. Aun así, el estudio tiene una alta replicabilidad, sobre todo en aquellos edificios de viviendas donde el consumo energético inicial es alto ya que la rehabilitación energética NZEB puede financiarse en gran parte con el ahorro conseguido gracias a la intervención o bien cuando se superponga con otras actuaciones, por ejemplo si existen problemas estructurales o de acabados que hay que solventar, aplicar criterios NZEB solo supondría el incremento del coste sobre la actuación inicial.

El concepto NZEB se haría más viable si con ello se aporta valor patrimonial al edificio, para ello el mercado debe integrarlo como tal. Actualmente la Certificación Energética de edificios no mejora sus condiciones de mercado. Otros valores que aporta la rehabilitación NZEB es la mejora de las condiciones de confort i habitabilidad de la población usuaria de las viviendas. Es un instrumento para reducir la pobreza energética en un municipio, debido a la reducción de consumos que implica, así como de luchar contra la exclusión social y poner en valor la capacidad de innovación del municipio. A nivel de financiación, destacar que los plazos máximos que manejan la mayoría de entidades financieras de financiación alternativa son inferiores a 5 años, salvo un fondo cooperativo y la banca ética, que aceptan períodos superiores a 5 años y entre 15-20 años respectivamente. Las fuentes de financiación tradicionales aceptan plazos máximos de financiación de entre 10 y 15 años. Los importes máximos fuera de las fuentes de financiación tradicional son de 500.000 €, mientras que las fuentes de financiación tradicional y la banca ética acepta importes más elevados. Es remarcable el hecho de que muchas entidades / instrumentos de financiación no acepten la financiación de mejoras pasivas y no pongan ningún impedimento para financiar mejoras activas. La titularidad de los edificios también es un factor clave, estando limitada la titularidad pública a la banca tradicional o la banca ética y quedando la titularidad privada en formato ESE o constructora fuera de la financiación de la banca tradicional y crowdfunding.

## REFERENCIAS

- Disseny d'estratègies nZEB integrals per a municipis metropolitans. Associació LIMA, AMB (2016)



## LOS EDIFICIOS PASSIVHAUS CERTIFICADOS, CONSTRUYENDO EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA EN ESPAÑA DESDE EL 2008

**Ángela Sisternes García**, Secretaria, Plataforma de Edificación Passivhaus

**Adelina Uriarte Gonzalo-Bilbao**, Presidenta, Plataforma de Edificación Passivhaus

**Juan Manuel Castaño**, Vocal de Relaciones Internacionales, Plataforma de Edificación Passivhaus

**Resumen:** La Plataforma de Edificación Passivhaus (PEP) lleva una labor continuada de divulgación del estándar y de la certificación de edificios Passivhaus, demostrando desde el 2008 que este estándar es un referente de éxito asegurado de Edificios de Energía Casi Nula. De esta manera, este tipo de edificios se han adelantado en España nada más y nada menos que en 10 años al punto de partida del 2018 en el que, según la Directiva 2010/31/EU, todos los edificios públicos nuevos deberán ser EECN. Además, este estándar de construcción se centra también en la excelencia en cuanto el confort y la calidad ambiental interior. Si bien en España se dio a conocer sobre todo con proyectos de vivienda unifamiliar de obra nueva, el estándar ha llegado ya a los edificios plurifamiliares, terciarios y de la administración pública, tanto de obra nueva como de rehabilitación.

**Palabras clave:** Estándar de Construcción, Edificios Públicos EECN, Certificación, Sostenibilidad, Horizonte 2020, COP 21, Monitorización de Edificios, Confort Higrotérmico, Calidad Ambiental Interior

### INTRODUCCIÓN

¿Se cumplirá el Protocolo de París - COP 21? ¿Realmente se quieren mitigar los efectos nocivos al medio ambiente derivados de la construcción y uso de nuestros edificios? ¿Cómo hacer que a partir de 2020 todos los edificios sean de Consumo Casi Nulo?

La convención marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático (UNFCCC, 2017) muestra en sus publicaciones la huella de Carbono de los edificios. En el caso de un edificio de oficinas de 1500 m<sup>2</sup> construidos cumpliendo estrictamente el documento básico HE “Ahorro de Energía” y con instalación de Gas Natural, habría que plantar 1.000 árboles al año para igualar su impacto de emisiones a aquel generado por un edificio de las mismas dimensiones y uso construido bajo estándar Passivhaus. Este edificio de alta eficiencia energética lograría así evitar la emisión a la atmósfera de 10.000 kg de CO<sub>2</sub> anualmente con respecto al primero.

En el marco normativo actual, se encuentra la próxima publicación de la actualización del Código Técnico de la Edificación 2018, la cual debe incorporar en el DB-HE la adaptación de los apartados definidos en la Directiva Europea EBPD 2010/31/EU al ámbito español. Dicha directiva determina entre otras cosas que, partir del 31 de diciembre de 2018, todos los edificios públicos nuevos deberán ser EECN. Surge entonces la pregunta: ¿Existe algún referente de edificio público construido en España que ayude a definir lo que todavía está por determinar en la normativa estatal? Afortunadamente, la respuesta es afirmativa: los edificios certificados bajo el estándar Passivhaus constatan en cuanto a diseño, construcción y datos reflejados mediante monitorización, que una definición exacta y exigente de lo que es un EECN no es una quimera.

Por otra parte, y a la vista de la Recomendación UE 2016/38 (Comisión Europea, 2016) el estándar da cumplimiento a todos y cada uno de los requisitos marcados por esta recomendación de obligado cumplimiento.

El presente trabajo quiere exponer de manera global la evolución de los edificios certificados Passivhaus en España, y cómo el estándar es *“el referente más ambicioso y contrastado a la hora de acometer la lucha contra los efectos del cambio climático en el sector de los edificios”* (United Nations Environment, Emissions Gap Report 2016).

### EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS EN ESPAÑA

El estándar Passivhaus, nacido en Alemania hace más de 25 años y en desarrollo por todo el mundo, aterriza en España de la mano de 8 profesionales que apostaron por una construcción de edificios rigurosa y de muy bajo consumo energético. Desde entonces, la Plataforma de Edificación Passivhaus (PEP) lleva una labor continuada de divulgación del estándar y de la certificación de edificios Passivhaus.

Existe ya mucha información en los medios acerca de en qué consiste el estándar Passivhaus o Casa Pasiva. Las líneas generales para comprenderlo son las siguientes:

- El estándar Passivhaus no es un sello medioambiental ni una marca comercial; es una metodología de diseño y construcción.
- Se trata de una metodología integral de diseño de edificios, y no un conjunto de mejoras independientes adicionales al proyecto o edificio.
- El cumplimiento del estándar Passivhaus implica tanto al profesional diseñador como al constructor del edificio y, ulteriormente, al usuario.
- El estándar también exige el cumplimiento de criterios de confort y salubridad: temperaturas mínimas y máximas de superficies interiores de envolventes, temperaturas mínimas y velocidad de aire de impulsión en el sistema de ventilación, altas exigencias acústicas en conductos de ventilación, etc.

Los edificios certificados Passivhaus están experimentando en España un progreso considerable en cuanto a la variedad climatológica de las ubicaciones, las diferentes tipologías edificatorias y los tipos de proyecto. Este hecho se traduce en la generación de una base de datos importante y variada de ejemplos EECN edificados a lo largo y ancho del territorio español.

En un contexto climatológico tan variado como es el español de Norte a Sur y de Este a Oeste, cabría pensar que un EECN debería constar de diferentes exigencias cuantitativas en cuanto a eficiencia energética se refiere, dependiendo de donde se ubicase el edificio. En este aspecto, el estándar Passivhaus establece que los edificios deben seguir en obra nueva los mismos valores independientemente de las condiciones climáticas:

- Demandas máximas de calefacción y refrigeración establecidas en 15 kW\*h/m<sup>2</sup> anual (más los efectos del calor latente en verano; siendo la energía requerida para control de humedad la variable de unos lugares a otros)
- La hermeticidad al paso del aire, test “puerta soplante” n<sub>50</sub> < 0.6 renovaciones/h y
- El consumo máximo de Energía Primaria renovable en 60 kW\*h/m<sup>2</sup> anual para edificios “Passivhaus Classic”.

De ahí se desprende que, por ejemplo, un edificio Passivhaus certificado en Vitoria y otro en Ibiza difieren únicamente en su estrategia global de acometer esos valores, principalmente en las llamadas medidas pasivas: el aislamiento térmico, la alta hermeticidad al paso del aire, el factor de forma del edificio, la orientación, la protección solar, la captación solar y el aprovechamiento de la inercia térmica.



Figura 1. Unifamiliar en Vitoria y en Ibiza.

## De la vivienda unifamiliar a los edificios públicos

A lo largo de estos 10 años de trayectoria se ha conseguido partir de la tipología de vivienda unifamiliar, pasando por tener ejemplos de edificios de gran terciario hasta la llegada de la vivienda plurifamiliar y los edificios dotacionales en el 2017.



Figura 2. Oficinas en Sollana (Valencia), Bloque de viviendas en Pamplona y Palacio de Congresos Europa en Vitoria.

## Obra nueva y Rehabilitación pública baja en Carbono

El estándar Passivhaus en España comprende no solo la certificación de edificios de nueva planta (certificación “Passive House”), también dispone de una certificación propia para proyectos de rehabilitación (certificación “EnerPHit”) e incluso da cabida para aquellos edificios que, por razones de viabilidad, no consiguen llegar a la exigencia Passivhaus (certificación “Low Energy Building”).



Figura 3. Obra nueva biblioteca en Villamediana (La Rioja) y Rehabilitación Universidad de Burgos.

Además, Passivhaus distingue en 3 categorías de certificación diferenciadas (Classic, Plus y Premium) según el factor de Energía Primaria Renovable que consuma y genere el edificio, tanto para obra nueva como para rehabilitación.

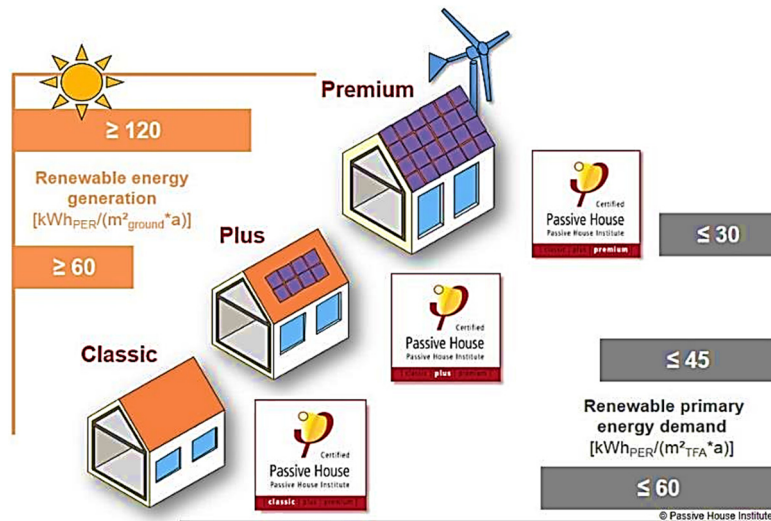


Figura 4. Categorías Passivhaus según el factor de Energía Primaria Renovable consumida y producida.

## REDUCIENDO AL MÁXIMO LA DEMANDA ENERGÉTICA Y AUMENTANDO EL CONFORT Y SALUD

El profesional dispone de herramientas informáticas sencillas pero eficaces que reflejan datos fidedignos con la realidad. El diseñador de edificios pasivos cuenta con la plantilla Excel “PHPP” y con el plugin de SketchUp “DesignPH”. Asimismo, en la actualidad se está desarrollando un plugin para Revit llamado “Passivlink” por un equipo dirigido por un socio de PEP.

El proceso de certificación de edificios cuenta con profesionales a su vez también certificados por el Passivhaus Institut alemán. El Passivhaus Institut expide cuatro títulos distintos que dependen de la formación del técnico y de su cometido durante el proceso de certificación de un edificio Pasivo: Passivhaus “Designer” (proyectista), “Consultant” (consultor), “Certifier” (certificador) y “Tradesperson” (jefe de obra).

A la hora de construir un edificio pasivo, el arquitecto y el constructor deben contactar con un técnico Passivhaus, quien verificará, durante la fase de proyecto y de obra, que se cumplen los requisitos establecidos. Éste se encarga de enviar la documentación necesaria a una entidad certificadora o al Passivhaus Institut (PHI) y así obtener el certificado de edificio Passivhaus cuando la obra esté finalizada.

## RESULTADOS

Gracias a la determinación de los profesionales socios de la Plataforma de Edificación Passivhaus, se cuenta a fecha de 2017 con 22.780 m<sup>2</sup> construidos y certificados en España. Considerando que, por cada 1500 m<sup>2</sup> de edificios Passivhaus o EnerPHit construidos se consigue evitar la emisión de 1.000 kg de CO<sub>2</sub> con respecto a un edificio siguiendo el CTE 2013, ¿Se están dejando de emitir 14,7 tn de CO<sub>2</sub> al año! Y, si hubiésemos estado más atentos ¿cuántas más se hubiesen dejado de emitir en los últimos 10 años?

## Fomentando los EECN

He aquí una muestra de la evolución de los edificios certificados a lo largo de 2 períodos diferenciados y distribuidos en la geografía española:

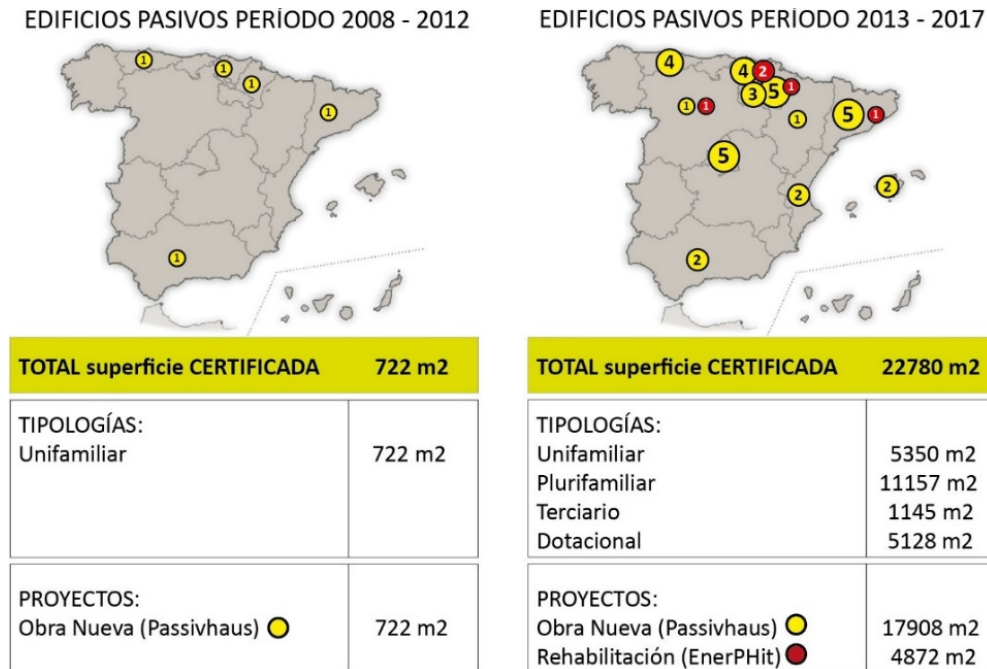


Figura 5. Evolución de los edificios Passivhaus certificados 2008-2017.

### Resultados relevantes en 10 años de Passivhaus en España

Algunos organismos públicos, tanto administraciones públicas locales, regionales como el Congreso nacional, ya han tomado nota de la inminente entrada en vigor de la Directiva E.B.P.D. 2010/31/EU. Por ello, a partir del 2016, instituciones públicas como el gobierno de Navarra han hallado en el estándar Passivhaus la respuesta ante la vaga definición del edificio de consumo energético casi nulo en el CTE.

#### EDIFICIOS PASIVOS EN PROCESO

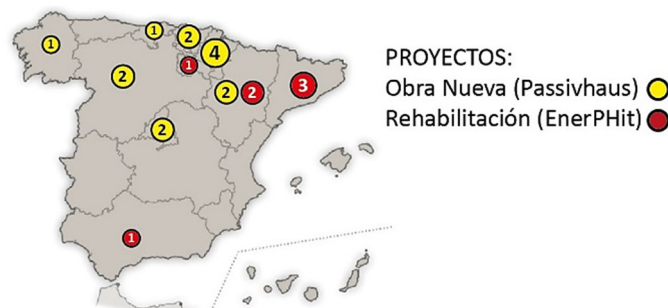


Figura 6. Estado de edificios en proceso de certificación en España (2017).

Algunos datos que reflejan el estado de desarrollo del estándar en España actualmente:

- Número de socios PEP (2017): 550
- Superficie construida certificada Passivhaus (obra nueva) y EnerPHit (rehabilitación): 22.780 m<sup>2</sup>
- Entidades públicas que apoyan el estándar Passivhaus: 40
- Entidades públicas que ya incorporan el estándar Passivhaus en los pliegos de condiciones de sus licitaciones (2017): VISESA (Vivienda y Suelo de Euskadi), NASUVINSA (Navarra de Suelo y Vivienda), Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda del Gobierno de Aragón y el Ayuntamiento de Burgos.
- Principales proyectos en proceso de certificación en España (2017):
  - Andalucía: Rehabilitación apartamentos turísticos en el Albaicín, Granada
  - Aragón:
    - Alcañiz: Rehabilitación de 6 viviendas para alquiler social
    - Teruel: Rehabilitación de 10 viviendas para alquiler social
    - Zaragoza: Residencial “Basa de la Mora” (81 viviendas)
    - Zaragoza: Residencial “Scenia” (26 viviendas)
  - Barcelona:
    - Rehabilitación de una escuela pública en Viladecans
    - Rehabilitación de un edificio plurifamiliar histórico en Barcelona capital
  - Burgos: Bloque de 4 viviendas en Burgos
  - Cantabria: Vivienda unifamiliar en Guriezo
  - Girona: Rehabilitación de un edificio plurifamiliar entre medianeras
  - Logroño: Rehabilitación de edificio del Ministerio de Hacienda (1.890 m<sup>2</sup>)
  - Comunidad de Madrid
    - Madrid: Residencial 18 viviendas en Arroyo del Fresno
    - Soto el Real: Vivienda unifamiliar
  - Navarra:
    - 40 viviendas promoción privada en Leiza
    - Centro de Salud en Lodosa
    - Centro para colectivos vecinales en Mendilorri, Pamplona
  - Promoción pública de 524 V.P.O. para alquiler social en Pamplona
  - País Vasco:

- Bilbao: Torre de 171 viviendas de protección y alquiler social en Bolueta
- San Sebastián: Hotel en Miramón (150 habitaciones, 10.000 m<sup>2</sup>)
- Valladolid: 12 viviendas del residencial “El Peral”
- Vigo: 8 viviendas de lujo

## DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PROSPECTIVAS: ¿POR QUÉ LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS YA APUESTAN POR PASSIVHAUS?

Exigir este estándar supone saber exactamente qué se obtiene, es decir, que no exista el “performance gap” (diferencia entre demandas proyectadas en el diseño y demandas reales), y, además, es una forma clara, comparable y asequible para todos los técnicos y constructores de diseñar y construir EECN. ¿Qué significan los resultados expuestos y este crecimiento exponencial del número de socios PEP? Se viene a demostrar que el sector de la construcción en España está despertando del letargo de la burbuja inmobiliaria renovándose, gracias a la formación técnica en EECN – Passivhaus. Se habla a menudo de cómo “mejorar” la eficiencia energética de nuestros proyectos y edificios. La cuestión no consiste en mejorar, sino directamente “hacerlo bien”. El diseño de una Passivhaus implica una definición integral, no un paquete de medidas adicionales a un proyecto predefinido. El reto para conseguir proyectar y construir EECN debe pasar por un cambio de actitud a la hora de enfrentarnos a los proyectos de edificación y así olvidar definitivamente el “como lo hacemos siempre”.

Gracias a ese “cambio de chip”, las personas formadas en Passivhaus consiguen realizar diseños y ejecutar obras con rigor y dedicación. De esta manera, ellos mismos avalan la práctica del estándar como una firme solución a la hora de hablar de EECN con la administración pública. Parte del público general puede que entienda que, el estándar Passivhaus, se inició gracias a la vivienda unifamiliar. De hecho, la tipología de vivienda unifamiliar de nueva planta todavía representa un factor importante en número de certificaciones. Pero, tras años de trabajo constante y riguroso, se ha logrado traspasar esta barrera y apostar por nuevas tipologías y usos como son el terciario, el ámbito de lo público y los edificios en altura. Aún quedan retos y metas por superar en España, por lo construir más edificios certificados será clave para que la realidad medida de los mismos termine por diluir todas las dudas existentes en relación con los costes de ciclo de vida y su aportación medioambiental. Invertir en la excelencia constructiva en edificios públicos repercutiría positivamente a medio plazo tanto en las arcas públicas como en el conjunto de la población.

## REFERENCIAS

- International Passive House Association, Certified Passive House Buildings in Spain Database. Disponible en: [http://www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=en#s\\_1ed798403ba2d5c48c420a68ee2bd4bc](http://www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=en#s_1ed798403ba2d5c48c420a68ee2bd4bc) (25 septiembre 2017)
- Organización de Naciones Unidas, 2017, Convención Marco sobre el Cambio Climático.
- The European Parliament and the Council of the European Union, Directiva relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios, 2010/31/EU.
- UNEP, 2016, The Emissions Gap Report 2016. Disponible en: <https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/emissions-gap-report-2016-unep-synthesis-report>
- Wassouf, M., 2016, Passivhaus a finales del año 2016 en España - estado de arte y pasos a seguir. <http://plataforma-pep.org/noticias/733-passivhaus-a-finales-del-ano-2016-en-espana-estado-de-arte-y-pasos-a-seguir>

## EL GRUPO E3CN: UNA INICIATIVA COLABORATIVA PARA EL CRECIMIENTO

**Gonzalo Alarcía Fernández**, Arquitecto, G-33 ARQUITECTURA Y URBANISMO

**Estibaliz González de la Serna**, Directora, MEDGÓN

**Silvia Martínez San Segundo**, Arquitecta, COANDA PASSIVHAUS

**Jesús Menéndez Amigo**, Consultor Passivhaus, ZERO ENERGY

**José Santos Torres**, Arquitecto, JST ARQUITECTURA

**Julia Vicente Gómez**, Ingeniera del Dpto. de Energía, CARTIF

**Resumen:** La construcción de EECN parte, para su implantación y normalización en la sociedad, del hándicap del desconocimiento por los agentes del sector, de las ventajas y bondades de estos edificios. Para promover su introducción en el mercado se ha creado dentro del Clúster AEICE un grupo de trabajo formado por empresas especializadas que pretende desarrollar de forma colaborativa líneas de actuación enfocadas a dinamizar el sector. Las primeras acciones que se están desarrollando son: una ambiciosa estrategia de comunicación dirigida a los diferentes colectivos (propietarios, administraciones, técnicos, constructoras, etc.) y la redacción de un manual técnico sobre EECN desde todas las ópticas con una recopilación de demostradores o casos reales.

**Palabras clave:** EECN, Trabajo Colaborativo, Interés Común, Capacitación, Dinamización, Comunicación, Demanda, Clúster

### ESTRATEGIAS PARA EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA

El desarrollo de Edificios de Energía Casi Nula (EECN) parte, para su introducción y correcta implementación, por el general desconocimiento de los agentes del sector y de sus correspondientes ventajas directas y externalidades en la sociedad. Para promover su introducción en el mercado se ha creado dentro del Clúster para la Construcción y el Hábitat Eficiente (AEICE) un grupo de trabajo específico formado por empresas especializadas que pretende promover y desarrollar de forma colaborativa líneas de actuación dirigidas a dinamizar este tipo de edificios. Las primeras dos actuaciones comprenden una ambiciosa estrategia de comunicación dirigida a diferentes colectivos (propietarios, administraciones, técnicos, constructoras, etc.) y la redacción de un manual técnico sobre EECN desde todas las ópticas con una recopilación de demostradores o casos reales.



Figura 1. Imagen del grupo de trabajo E3CN del Clúster AEICE.

### EECN: estado del arte e inquietudes comunes

#### *EECN en la actualidad*

La Directiva comunitaria 2010/31/EU, relativa a la eficiencia energética de los edificios, define edificio de consumo de energía casi nulo y sienta las bases de los requerimientos prestacionales obligatorios a presentar por cualquier tipología de edificio en el año 2020.

Parte de dos supuestos o de dos objetivos: la necesidad de aportar, desde el sector de la edificación, soluciones al consumo de energía en nuestra sociedad, que deriva en unos altos costes económicos, sociales y ambientales, y la orientación a la mejora de las condiciones de vida y confort de los usuarios.

En primer lugar, el parque inmobiliario, tanto en España como en el resto de países, está formado por edificios en los que la gestión de la energía no era el primer argumento de proyecto. En este sentido, las nuevas tipologías edificatorias han dejado de lado tecnologías y experiencias constructivas que convierten a las construcciones antiguas más humildes en ejemplos de edificación sostenible y adaptada al entorno.

Paralelamente, las necesidades de la población han derivado en la búsqueda del confort, que las características de los edificios no permitían sin el uso de soluciones activas, es decir, sin el aporte de maquinaria, en la mayoría de los casos de fuentes de energía no renovable. En conjunto, estas circunstancias tenían como consecuencia un consumo de energía muy alto y poco eficiente.

Los EECN tratan de acometer estos problemas desde las soluciones pasivas, con un apoyo mínimo de sistemas activos; a poder ser con fuentes de energía renovable. Esta forma de construir, que ha tomado diferentes nombres a lo largo de los últimos años, no es nueva, ya que la arquitectura tradicional ya estaba basada en los mismos conceptos.

En los últimos años, se ha comenzado a despertar un interés mayor en este tipo de edificaciones, a partir de dos eventos de carácter global: la crisis económica y el cambio climático. Estos dos eventos, que tienen orígenes y consecuencias muy diferentes, y en cierta manera, enfrentados entre sí, han despertado la inquietud, también a nivel global, sobre la necesidad de reducir drásticamente el consumo de energía, hasta llegar a eliminarlo en un futuro, en el caso de las energías no renovables.

### ***Nacimiento e inquietudes del grupo***

Ante la incapacidad del sector de definir claramente qué es un edificio de consumo casi nulo de energía y ante el desconocimiento profundo de la sociedad y del sector de construcción sobre esta tipología de edificios, AEICE entendió la necesidad de crear un grupo de trabajo específico en esta temática; creado en parte por las inquietudes existentes entre las propias empresas del sector hacia el difuso devenir de las políticas y normativas al respecto de los EECN.

Una de las líneas de debate surgida en las reuniones iniciales de este grupo fue el “estado del arte” de los “edificios que consumen poca energía” dónde se percibió un desamparo normativo con dudas generalizadas en cuanto a cómo denominar a aquellos edificios, qué cantidad de energía tenían que consumir para poder ser considerados como tales o qué normativa nacional se les ha de aplicar.

Ciertamente la Directiva 2010/31/EU, nombra a dichos edificios como “Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo [EECN]”, sin embargo, es fácil encontrar en renombradas publicaciones, revistas o congresos, denominaciones como “Edificios de Energía Casi Nulas [EECN]”, “Edificios de Consumo Casi Nulo [ECCN]”, “Edificios de Balance Energético Cero [EBEC]” surgiendo así la duda constante de si “¿Es todo lo mismo?”

La propuesta final se decantó por “EECN” ya que, a juicio de los participantes, define mejor las intenciones deseadas y se optó por eliminar la palabra consumo, incluyendo una palabra que engloba las inquietudes del grupo y discerniendo la variable humana “consumo” del carácter prestacional y objetivo del edificio.

## **Estrategias**

El objetivo principal de las empresas que integran el grupo de trabajo y las inquietudes generales es definir estrategias para llegar a proyectar, construir, mantener, simular e incluso demoler o reciclar Edificios de Energía Casi Nula. Así surgió “E3CN: Estrategias para Edificios de Energía Casi Nula”

Una vez abordado y definido el nombre con el que se iba a denominar a este grupo de trabajo, no tardaron en surgir múltiples líneas de trabajo e inquietudes entre las diferentes empresas, esa es la riqueza del clúster; las sinergias que se producen entre diferentes empresas, con enfoques y conocimientos diferentes que investigan en una misma línea pero con visiones diferentes, cada una tratando de aplicarlo a su campo de especialidad y conocimiento, para después ponerlo en común y compartirlo con los compañeros del grupo.

La primera inquietud que surgió fue la necesidad de comunicar y difundir, primero la existencia del grupo, y segundo qué es, porqué es necesario, y cómo se consigue un edificio de energía casi nula. Para ello se organizó una jornada de presentación en la sede central del clúster. Paralelamente se creó un subgrupo de trabajo dedicado exclusivamente a tareas relacionadas con la comunicación. Se detectó que es necesario arrojar luz sobre lo que a día de hoy es prácticamente desconocido para la mayoría de los usuarios, para muchos promotores y para gran parte de los técnicos implicados en la edificación.

Para ello, se ha propuesto organizar jornadas concisas para concienciar a los ciudadanos, ya que son ellos los usuarios finales y los que deben ser conocedores de la conveniencia y necesidad de los EECN más allá de cualquier normativa a partir de 2020. Está previsto organizar presentaciones en espacios públicos como centros cívicos, docentes o incluso



de ocio; también se están diseñando trípticos, jornadas técnicas y finalmente, visitas a edificios ya construidos para mostrar el verdadero confort y ahorro que supone vivir en un EECN.

Otro interés directo del grupo está relacionado con la economía de esta tipología de proyectos y su potencial AHORRO. Con la finalidad de responder a la cuestión de si realmente se ahorra al vivir en un EECN, se ha organizado otro subgrupo de trabajo que está actualmente investigando y elaborando un modelo económico para comparar en paralelo los costes de un edificio construido de forma tradicional y un edificio EECN a lo largo de su completo ciclo de vida. Esto incluye las fases de proyecto, construcción, mantenimiento, rehabilitación, demolición y reciclaje. Con ello se pretende comprobar si efectivamente construir EECNs supone un ahorro a lo largo de la vida útil del edificio. Las sinergias y el trabajo colaborativo, facilitan que cuando se elabore el modelo económico, éste circule a través del subgrupo de comunicación antes mencionado para una mayor brevedad en su difusión pública.

A través de un debate en una de las reuniones, nació el tercer subgrupo de trabajo. La pregunta en cuestión planteaba la posibilidad de poder construir un EECN en Castilla y León con materiales únicamente de la Comunidad. Actualmente se está realizando un catálogo de materiales de construcción sostenibles, autóctonos, empleables en un EECN, al objeto de intentar volver a aquella arquitectura vernácula, con una tipología y materiales de la zona, poniendo en valor la arquitectura más sostenible y la que aprovecha los recursos de su entorno inmediato y se adapta a su entorno, beneficiándose de los avances tecnológicos y los conocimientos adquiridos a lo largo del tiempo.

## Organización y métodos del trabajo del grupo

Este grupo de trabajo se crea por las inquietudes existentes entre las empresas del sector hacia el devenir de las políticas y normativas al respecto de los edificios de consumo casi nulo de energía.

Ante la incapacidad del sector de definir claramente qué es un edificio de consumo casi nulo de energía y ante el desconocimiento profundo de la sociedad y del sector de construcción (aunque parezca mentira) sobre este tipo de edificios, las empresas participantes se vieron en la necesidad de crear este grupo de trabajo. Necesidad e ilusión por tratar de servir de palanca de cambio en este sector tan difícil de mover y a veces tan anquilosado en experiencias de otros tiempos.

Y con esta idea se ha formado este grupo de trabajo dentro del clúster AEICE. Sorprendentemente la respuesta de las empresas del clúster fue muy positiva y más de una veintena de ellas estaban dispuestas a embarcarse y trabajar en esta nueva aventura.

¿Cómo se organiza? ¿Cómo se logra trabajar con 20 empresas que no están en la misma ciudad y que ni siquiera se dedican a lo mismo?

Y aquí es donde aparece la frase mágica “trabajo colaborativo”. Todo lo que se hace en este grupo de trabajo es por y para el interés de las empresas y de forma consensuada con todas ellas. Todas las empresas arriman el hombro y todo lo que sale de aquí y los logros futuros serán gracias al trabajo de las empresas que forman este grupo, con el impulso y el apoyo del clúster. Primeramente se nombraron dos empresas que co-lideran el grupo de trabajo y que supervisan el trabajo conjunto del mismo. En una primera reunión inicial se establecieron los objetivos del grupo, objetivos que salieron de las propias inquietudes de cada empresa, ¿en qué te gustaría trabajar? ¿que no conocemos de los EECN? ¿qué podríamos aportar nosotros? Y se establecieron los objetivos del grupo, a saber:

- Comunicación e información: información, información, información; al propio sector y a los ciudadanos, ante el desconocimiento generalizado de estos hacia los EECN.
- Generar interés hacia este tipo de edificios (generar la demanda).
- Aprendizaje del sector.
- Creación de un sello propio de EECN: ya que no está definido ¿por qué no crear un sello privado propio, del estilo a Passivhaus o Minergie?

Una vez establecidos los objetivos generales del grupo, se organizaron dentro del mismo varios subgrupos para articular el trabajo. El subgrupo de Difusión-Comunicación, el de Aprendizaje-Materiales y el de Financiación-Costes.

El método de trabajo del grupo es muy sencillo, cada subgrupo de trabajo define las actuaciones que pretende realizar, éstas se comunican al resto de empresas del grupo en reuniones presenciales de todo el grupo de trabajo y se van realizando aquellas acciones acordadas, siempre desde el consenso de todas las empresas.



Figura 2. Primera reunión del grupo de trabajo E3CN de AEICE. Figura 3. Jornada sobre EECN en AEICE, el 4 de julio de 2017.

En la actualidad y para favorecer la fluidez de trabajo de todas las empresas implicadas, se realizan reuniones a distancia de cada subgrupo de forma telemática y además se hace una reunión presencial dentro del clúster de forma mensual para poner en común el trabajo y seguir decidiendo conjuntamente los siguientes pasos a realizar.

## Trabajo colaborativo

De esta forma de trabajar han ido surgiendo diversas propuestas y actualmente se trabaja ya en la realización de varias de ellas.

### Jornada presentación EECN en AEICE

Tuvo lugar el 4 de julio, con un programa de mañana y tarde, con ponentes procedentes de toda España.



Figura 4. Diferentes momentos en el stand de AEICE en Expobiomasa, 26 a 29 de septiembre de 2017.

### Expobiomasa 2017

Dentro de la estrategia de comunicación del grupo, como se indicaba en los objetivos definidos, se pretende llegar al mayor número de agentes posibles para la difusión de los edificios de consumo casi nulo. De ese modo, se pretende aprovechar cuantas vías sea posible para acercar el trabajo realizado al sector de la construcción y la eficiencia energética, así como al público en general.

La feria Expobiomasa, que se celebra en Valladolid desde hace ya 10 años, siendo ya una feria de referencia profesional que reúne a más de 18.000 profesionales de diferentes ámbitos incluidos la construcción, la rehabilitación y la eficiencia energética, ha supuesto una gran oportunidad para actuar en esa línea. En la edición de 2017, celebrada el pasado septiembre (del 26 al 29) el clúster AEICE contó con un stand en el que se pudo mostrar la recién estrenada identidad visual del grupo de trabajo y compartir con los visitantes de la feria la visión del grupo y de las distintas

empresas que trabajan en él, ya que no se pretendió que fuera un stand meramente institucional, sino el lugar de reunión y también exposición de las empresas presentes en el grupo E3CN con los asistentes.

Durante la feria se llevaron a cabo diferentes eventos paralelos en los que también tuvo participación AEICE. Uno de ellos, el foro FORAE, contó con una ponencia del director del clúster, Enrique Cobreros, acerca de estrategias para tener un sector de la edificación moderno, sostenible y competitivo en Castilla y León, y de cómo el clúster y sus diferentes grupos trabajan para que así sea. Para el grupo E3CN esta feria ha supuesto una fantástica toma de contacto con el sector y sus intereses y tendencias.

### **Manual de EECN**

Otra de las tareas ya lanzadas dentro del grupo de trabajo, es la elaboración de un manual enfocado en los edificios de consumo casi nulo que pueda servir de referencia a los profesionales del sector de uno u otro perfil. Dada la ausencia de una definición universal, este manual introducirá el concepto de edificios de consumo de energía casi nula tal cual es entendido desde los diferentes puntos de vista de las empresas del grupo y su necesidad y certificación energética. Buena parte del manual abordará las fases de diseño y construcción para la consecución de un EECN, sin olvidar aspectos clave como los económicos o su uso y operación. Más allá de la mera teoría, este manual recogerá una sección dedicada a casos de éxito de edificios de este tipo localizados en diferentes puntos de España. Esta sección tendrá además su reflejo en un mapa interactivo que estará disponible al público en general desde la página web del clúster entre otros, y que permitirá de forma rápida consultar información de dichos casos de éxito.

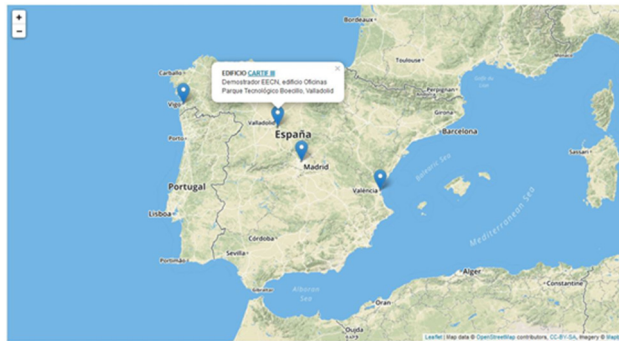


Figura 5. Prueba del mapa interactivo de EECN.

Al igual que en otras tareas, la redacción de este documento se está realizando de forma colaborativa con la participación y aportaciones de expertos de las diferentes empresas del grupo. Está previsto que el manual esté finalizado a finales de 2017.

## **CONCLUSIONES**

El éxito de un nuevo modelo de construcción, responsable, sostenible, moderno, reside en la permanente colaboración entre todos los agentes que conforman la cadena de valor del sector, y siempre en constante escucha de las necesidades y expectativas de los usuarios y de la sociedad en general. Las empresas que quieren responder a los nuevos retos del sector encuentran en un clúster el ecosistema ideal para trabajar de forma colaborativa y alcanzar metas a las que no llegarían solas.

El valor añadido que resulta del trabajo del grupo E3CN redundará en una mayor competitividad de las empresas que lo forman, y en definitiva, de un mejor posicionamiento en el mercado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer sus aportaciones al equipo de AEICE y a todas las empresas que forman el grupo de trabajo E3CN: Coanda Passivhaus, Cartif, Ciemat, Collosa, CTME, Foresa, Fundación Santa María la Real del Patrimonio Histórico, G-33 Arquitectura y Urbanismo, Grupo Puma, Hábitat Eficiente, IngenierosVA, JST Arquitectura, Maderas Pisuerga, Medgón, MHS, Priasa, Vanesa Ezquerra, Zero Energy.

## IESD – HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN REHABILITACIONES ENERGÉTICAS DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES

**Konstantinos Kampouropoulos**, Responsable División Eficiencia Energética, Fundació CTM Centre Tecnològic  
**Eva Crespo Sánchez**, Dr. Arquitecta, Investigadora Unidad Sostenibilidad, EURECAT-Centro Tecnológico de Cataluña

**Resumen:** En este trabajo se presenta una herramienta de software beta basada en una metodología novedosa que tiene por objetivo facilitar la toma de decisiones técnicas en la fase de pre diseño de rehabilitaciones energéticas en edificios no residenciales, promoviendo el desarrollo de edificios de consumo energético casi nulo (nZEB) con un coste óptimo. El motor de cálculo se basa en la definición arquitectónica del edificio en cuanto a soluciones pasivas (volumetría, orientación, transmitancias térmicas, etc.) y activas (climatización, energías renovables, etc.), así como en las condiciones climáticas (radiación solar, temperatura, etc.) y los perfiles de operación (carga térmica, horas de uso, etc.). Se trata de una combinación de modelos matemáticos que caracterizan los vectores de demanda energética anual de un edificio con el uso de algoritmos de optimización multiobjetiva.

**Palabras clave:** Simulación Energética, Edificios nZEB, Optimización Energética Tecnológica, Rehabilitación, No Residencial

### ANTECEDENTES

La Directiva 2010/31/UE de Eficiencia Energética de Edificios y el Reglamento Delegado (UE) 244/2012 que la complementa, han introducido dos elementos básicos en la definición de los edificios: el concepto de edificios de energía casi nula (nZEB) y la exigencia de un balance óptimo entre el ahorro energético y el coste económico medio de la fase de implantación y de explotación.

Estas nuevas exigencias están cambiando radicalmente el enfoque en cuanto al diseño tanto en la fase de construcción, gestión y mantenimiento de los edificios, requiriendo nuevas soluciones tecnológicas que contribuyan en la toma de decisiones.

Actualmente las herramientas de uso más frecuentes son la Herramienta Unificada Lider-Calener, Energy Plus, Design Builder; pero todas ellas requieren de un elevado conocimiento técnico y de inversión de tiempo para la introducción de los datos mínimos necesarios para la evaluación energética, y en ningún caso facilitan datos de optimización de las soluciones (Fig. 1).

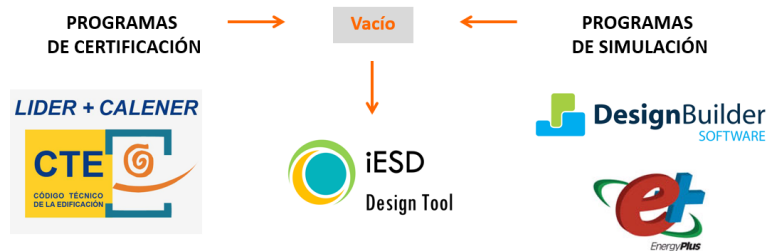


Figura 1. Herramientas disponibles para el análisis energético en edificios.

En este trabajo se presenta una metodología novedosa que ha derivado en una herramienta software (actualmente en versión beta), que permite el análisis energético y la optimización de las envolventes y las instalaciones de edificios existentes de uso no residencial, basándose en soluciones tecnológicas disponibles en el mercado y priorizando el uso de energías renovables en medida de lo posible, contribuyendo con las inquietudes reflejadas en las directivas impuestas por la Unión Europea sobre la eficiencia energética de los edificios.

### OBJETIVOS

El iESD es una herramienta de soporte para la optimización de soluciones técnicas en el campo de la rehabilitación energética de edificios no residenciales. El principal objetivo de la aplicación es determinar de forma automática la solución de rehabilitación energética óptima, según la particularidad arquitectónica y climática de cada edificio y su ubicación, a nivel de soluciones constructivas y de instalaciones. Estas acciones permitirán reducir el impacto

energético, económico y medioambiental del edificio (consumo energético, coste de ciclo de vida y emisiones de CO2), maximizando el rendimiento energético del edificio, promocionando el uso de energías renovables y siguiendo el concepto de edificios de energía casi nula.

El marco de actuación se enfoca en la minimización de las curvas de demanda del edificio, que satisfacen las necesidades de calefacción, refrigeración, ACS, iluminación e otros servicios energéticos, así como la optimización del sistema de su subministro (equipos e instalaciones).

El motor de cálculo se basa en la definición arquitectónica del edificio en cuanto a ambas soluciones (Fig. 2), pasivas (volumetría, orientación, transmitancias térmicas, etc.) y activas (climatización, distribución y producción de energía convencional y renovable, etc.), así como en sus condiciones climáticas y los perfiles de su operación.

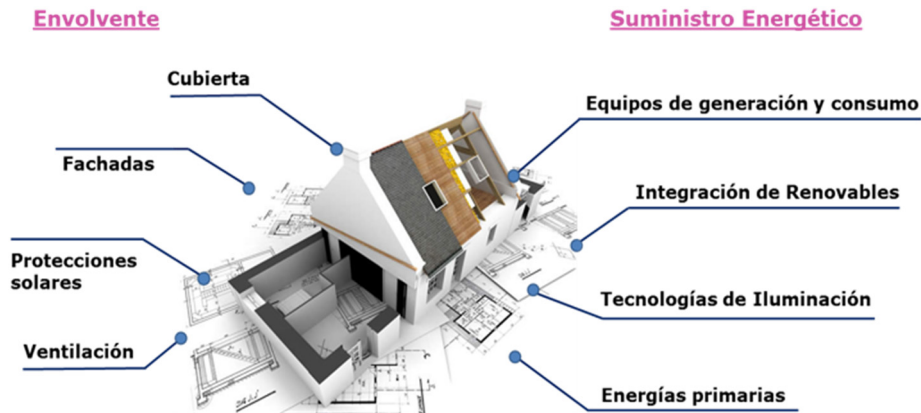


Figura 4. Soluciones tecnológicas optimizadas en la parte activa y pasiva del edificio.

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en la combinación de modelos matemáticos que caracterizan los vectores de demanda anual de energía de un edificio concreto y el uso de algoritmos de optimización multiobjetiva, que permiten establecer las combinaciones técnicas óptimas a adoptar en el edificio en términos de demanda, consumo (energía final y primaria), emisiones de GEI, y coste económico (inversión, uso y mantenimiento).

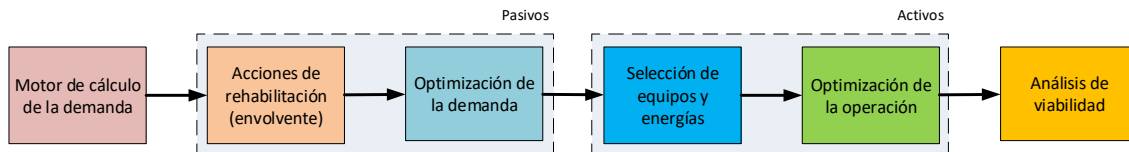


Figura 3. Bloques en los que se descompone la metodología de cálculo.

La Figura presenta los cuatro bloques principales en los que se basa la metodología de cálculo para la optimización de las soluciones de rehabilitación.

### Bloque 1. Predicción de la demanda

Un motor de predicción de la demanda de energía, que a partir de análisis de energía y simulaciones de carga térmica, puede calcular con precisión y rapidez (en términos de segundos) el comportamiento energético anual de un edificio dado, bajo las condiciones específicas de su operación y de climatología.

La predicción de la demanda se puede realizar en base a los datos de partida exigidos por la herramienta (Fig. 4) o a través de la disposición de sus facturas energéticas. Hay una correspondencia directa entre la precisión de información de los datos introducidos y el grado de fiabilidad de los resultados finales de optimización.

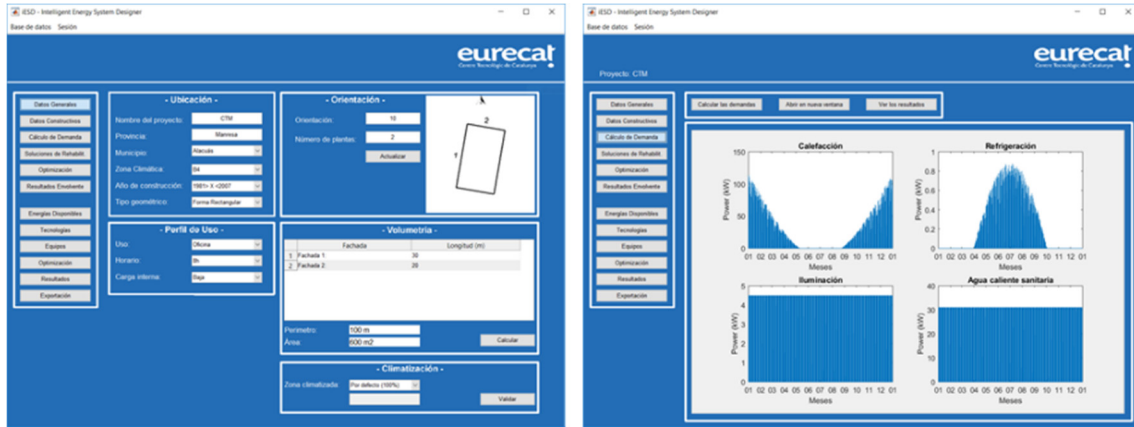


Figura 4. Ejemplo de la interfaz de usuario para la configuración y predicción de las demandas.

## Bloque 2. Base de datos de soluciones pasivas

Una base de datos personalizada que contiene las soluciones de rehabilitación disponibles, que se pueden implementar en el edificio objetivo, para mejorar su comportamiento pasivo (cerramientos opacos, ventanas y protecciones solares), incluyendo información técnica, como la transmitancia térmica del material, la resistencia y el coste económico de la solución (material, implantación y mantenimiento) por m<sup>2</sup>, entre otros (Fig. 5).

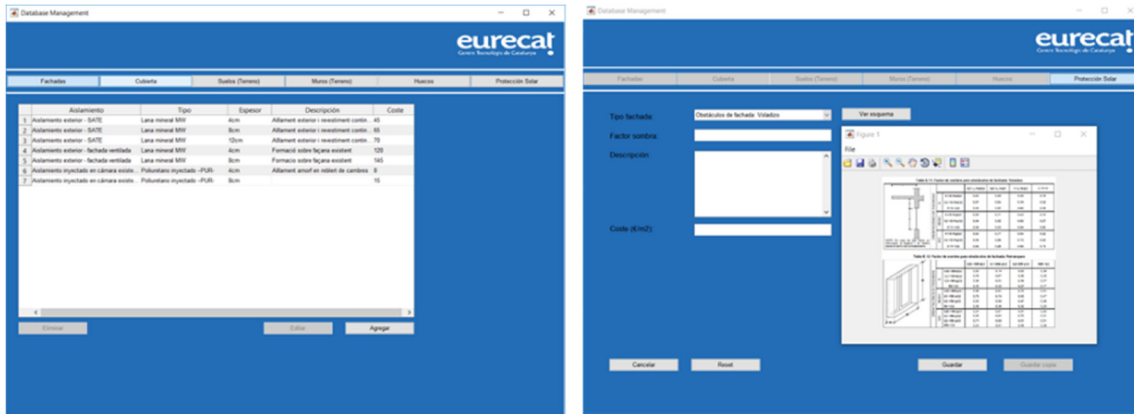


Figura 5. Ejemplo de la base de datos de las soluciones tecnológicas pasivas.

## Bloque 3. Base de datos de soluciones activas

Una base de datos personalizada que contiene información técnica de las soluciones de rehabilitación que se pueden aplicar en la parte activa del edificio en términos de fuentes de energía primaria y equipos de producción energética. La base de datos incluye las fuentes de energía disponibles en el edificio estudiado (costos económicos por unidad, suministro máximo de energía por hora, factores de emisión de CO<sub>2</sub>, etc.), así como información técnica de equipos disponibles de producción (calderas, enfriadores, bombas de calor, cogeneración, máquinas de absorción), incluyendo sus límites de operación, los coeficientes de rendimiento, sus costes económicos (inversión, operación y mantenimiento) como también el tiempo previsto de amortización (Fig. 6).

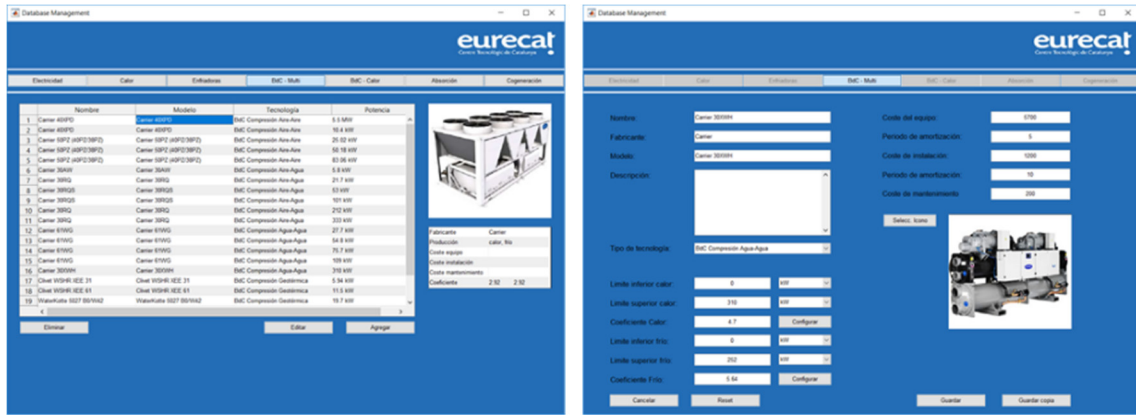


Figura 6. Ejemplo de la base de datos de las soluciones tecnológicas activas.

### Bloque 4. Algoritmo de optimización

A partir de una preselección de medidas de actuación (activas pasivas) y la definición de los criterios de optimización, por parte del usuario, la herramienta facilita la evaluación y combinación de actuaciones para la rehabilitación energética del edificio concreto. La herramienta proporciona resultados de demanda energética desglosados por servicios, los consumos de energía final desglosados por fuentes energéticas y los ahorros estimados de cada una de las soluciones resultantes. Además, la herramienta proporciona una estimación del impacto ambiental en cuanto a emisiones de CO2.

Para ello, utiliza un algoritmo de optimización multiobjetivo basado en algoritmos genéticos (GA) y programación cuadrática secuencial (SQP), para la evaluación y determinación de las soluciones pasivas y activas de rehabilitación óptimas, según los términos de optimización previamente seleccionados (económicos, energéticos y ambientales).

### RESULTADOS

La herramienta de software está diseñada para equipos con sistema operativos Windows, y a través de su interfaz gráfica simplificada permite al usuario la personalización de la base de datos, la configuración de las características del edificio, así como la evaluación y optimización de diferentes soluciones de rehabilitación tanto de elementos pasivos como activos del edificio.

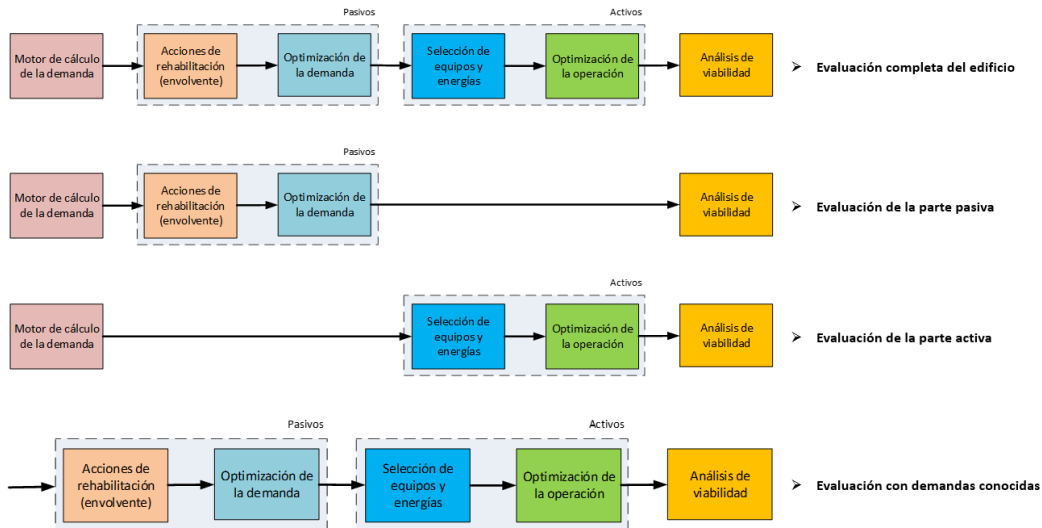


Figura 7. Fases de la cadena de optimización.

La herramienta permite el uso de la cadena de operación de manera global pero también de manera fraccionada, según los datos disponibles del edificio de partida y el objetivo de estudio energético (Fig. 7).

El resultado final de la herramienta es el listado de soluciones óptimas acompañadas de datos numéricos y gráficos que describen las aportaciones de cada una (Fig. 8).

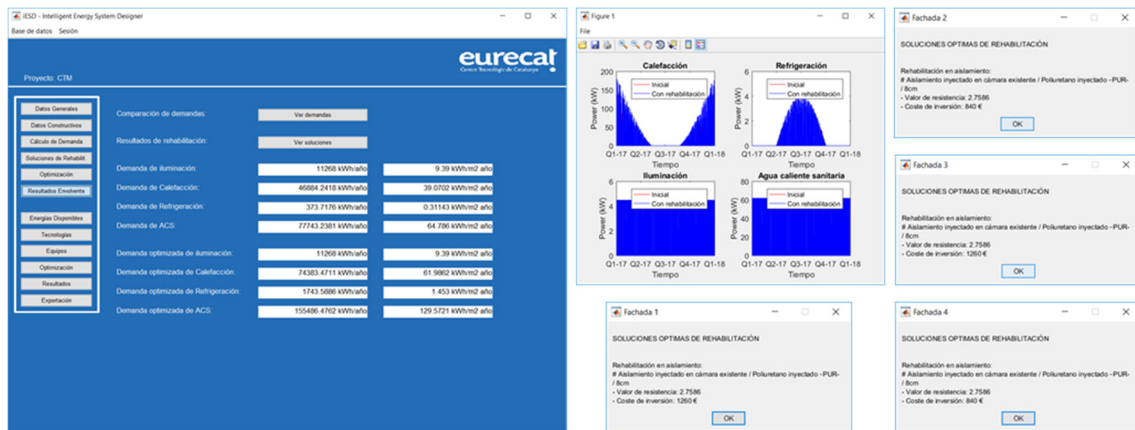


Figura 8. Ejemplo de resultados de soluciones óptimas de rehabilitación energética (parte pasiva).

## CONCLUSIONES

La metodología utilizada en la herramienta presentada facilita la toma de decisiones tanto para empresas de servicios energéticos (ESEs, Empresas de Servicios Energéticos) e ingenierías como a despachos de arquitectura con bajos recursos técnicos y económicos, destinados al desarrollo de estudios energéticos. También promueve la implicación de los industriales no sólo para el desarrollo de la base de datos del iESD sino como herramienta para que evalúen el comportamiento energético y ambiental de sus productos, tanto existentes como futuros. Finalmente, hay que destacar que la metodología es extrapolable a la toma de decisiones en casos de conjuntos de edificios, de aquellos promotores como cadenas hoteleras o administraciones públicas que dispongan de un parque edificatorio para rehabilitar pero recursos limitados. En estos casos, a través de la herramienta iESD, pueden establecer un plan de actuación gracias a la agilidad de uso y precisión de los resultados que proporcionados por la herramienta.

## AGRADECIMIENTOS

La herramienta iESD ha sido desarrollada por los centros tecnológicos "Eurecat - Centro Tecnológico de Cataluña" y "Fundació CTM Centre Tecnològic" en el marco de un proyecto de investigación nacional, subvencionado por ACCIÓ (L'agència per la competitivitat de l'empresa, de la Generalitat de Catalunya).

## REFERENCIAS

- Código Técnico de la Edificación (CTE) y su catálogo de elementos constructivos.
- UNE\_EN\_ISO\_13790
- UNE-EN\_ISO\_13789=2001
- UNE-EN\_ISO\_10077-1=2001
- IDAE, 2015, Manual fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE<sup>3</sup>X.
- IDAE, 2015, Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE<sup>3</sup>X.
- IDAE, 2009, Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER; y anexos.



## EDIFICIO DEMO NZEB EN BARCELONA CON AEROTERMIA, ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y TECHO RADIANTE

**Alberto Jiménez**, Jefe Departamento Técnico, Formación y soporte de Baxi Calefacción  
**Vicente Abarca**, Jefe de producto Energías Renovables de Baxi Calefacción

**Resumen:** Proyecto demostrativo sobre edificación residencial orientada hacia el concepto nZEB en Barcelona. El objetivo del proyecto es analizar y demostrar la viabilidad de una construcción de un edificio de viviendas con el concepto de edificio de consumo casi nulo. El edificio se encuentra en la ciudad dentro de una zona urbana de alta densidad y como es obvio con clima puramente Mediterráneo. Durante el diseño y construcción del edificio se han implementado todo tipo de medidas activas y pasivas para mejorar el comportamiento energético del edificio, siempre con medidas y soluciones disponibles en el mercado y con un coste razonable. También se han añadido sensores y contadores de energía para monitorizar el edificio ocupado, se pretende analizar la calidad y confort del interior de las viviendas y así como su consumo energético. El edificio se terminó de construir y se ocupó a mediados del 2016 y se tienen datos energéticos registrados desde finales de 2016. En esta comunicación haremos un análisis de los datos obtenidos durante estos primeros meses de funcionamiento.

**Palabras clave:** Edificio Consumo Casi Nulo, Demo BCN-nZEB, Aerotermia, Energía Solar Térmica, Monitorización

### INTRODUCCIÓN: PROYECTO DEMO BCN-NZEB

Este proyecto está impulsado y coordinado por el Centre Tecnològic de Catalunya (Eurecat). El objetivo de este edificio demostración es la experimentación para la obtención de edificios con consumo energético muy bajo (nZEB). La idea es utilizar soluciones técnicas ya existen en el mercado y a un precio razonable que no excedan significativamente de los habituales en este tipo de promociones.



Figura 1. Edificio Demo BCN-Nzeb.

El proyecto abarca todas las fases de diseño, construcción y monitorización del edificio. Uno de los aspectos más importantes de este proyecto es obtener resultados durante el funcionamiento de al menos 15 meses en condiciones de ocupación real. Los resultados obtenidos y las experiencias adquiridas se utilizarán para divulgar estas tecnologías.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El edificio se encuentra ubicado en la ciudad de Barcelona en el distrito de Horta-Guinardó. Se trata de un edificio de 5 viviendas en 3 plantas.

El edificio tiene tres plantas, con dos viviendas en las plantas baja (PB) y primera (P1). Una quinta vivienda se sitúa en la última planta (P2).

Planta Baja (PB)	
PB-1	60 m <sup>2</sup>
PB-2	69,2 m <sup>2</sup>
Planta 1 (P1)	
P1-1	73,3 m <sup>2</sup>
P1-2	67,9 m <sup>2</sup>
Planta 2 (P2)	
P2-1	144,3 m <sup>2</sup>

Tabla I. Superficie útil por vivienda.



Figura 2. Planos de las tres plantas.

Se realizaron simulaciones energéticas del edificio con diferentes soluciones. La demanda energética calculada resultante fue esta:

Demanda calefacción (kWh/m <sup>2</sup> . año)	7,5
Demanda refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> . año)	12,1
Demanda ACS (kWh/m <sup>2</sup> . año)	21,7
Demanda Total (kWh/m <sup>2</sup> . año)	41,3

Tabla II. Resultado simulación edificio.

Durante la fase de construcción y ejecución del edificio se hizo un seguimiento de todas las soluciones aportadas por las empresas participantes en el proyecto.

Las soluciones pasivas aportadas en la envolvente del edificio se centraron sobre todo en evitar puentes térmicos con el exterior. El material aislante usado fue la lana de roca, con diferentes valores de transmitancia térmica.

## Fachada

- Fachada pesada convencional (no-industrializada).
- Fachada de 1 hoja con aislamiento por el exterior 8 cm de lana de roca. En la fachada de la planta baja se ha colocado por el interior para proteger el aislamiento.

## Cubierta

- Cubierta invertida transitable.
- Cubierta con aislamiento por el exterior, 8 cm de lana de roca.

## Particiones que separan las viviendas y escalera

- Particiones verticales con aislamiento colocado en el exterior (lado escalera), 4 cm de lana de roca.

### Forjados:

- Forjados entre viviendas con aislamiento, 3 cm de lana de roca.
- Forjado en contacto con el garaje con aislamiento por el interior 5 cm de lana de roca.

### Medianeras:

- Lana de roca por el exterior 4 cm.

### Ventanas:

- Vidrios 4/20 argón/4 bajo emisivo.  $U_{\text{vidrio}}=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $U_{\text{ventana}}=3,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Marco de aluminio con rotura de puente térmico (RPT) (superficie vista de 58.8 mm).  $U_{\text{marco}}=2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  (ventana practicable),  $U_{\text{marco}}=3,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  (ventana corredera). Permeabilidad al aire (ventana practicable) clase 4. Permeabilidad al aire (ventana corredera) clase 3.

Las soluciones activas se centraron en el control solar, para evitar el calentamiento excesivo en verano por radiación solar y la eficiencia de la instalación de climatización, para reducir el consumo de Energía primaria.

### Protección solar:

Se instalaron voladizos y se aprovecharon los balcones superiores para dar sombras en ventanales. Además se instalaron toldos verticales exteriores con tejido con factor solar de 0,12. El toldo se esconde en un sistema de caja sobrepuesto sobre el hueco de la ventana, evitando así las pérdidas de los tradicionales sistemas encastrados en la fachada.

Las protecciones solares están motorizadas de manera individual en cada vivienda por un sistema domótico con:

- un sensor de temperatura del aire interior por vivienda
- un sensor de radiación solar y un anemómetro colocados en las 2 fachadas del edificio

### Sistema de ventilación y deshumectación de calor

El sistema de ventilación forzada y recuperación de calor proporciona un ambiente dentro de las viviendas saludables y una recuperación muy importante de la energía térmica (calor o frío) que habitualmente se pierde a través de la ventilación. Son equipos muy voluminosos, por lo que es importante tener en cuenta su ubicación durante el diseño del edificio.

### Sistema de climatización y producción de ACS

La instalación climatización se basa en un equipo de Aerotermia que produce frío y calor para un sistema de techo radiante. Sistema integrado individual por vivienda de climatización y ACS con bomba de calor aire-agua PLATINUM BC PLUS V220 11 kW de BAXI (COP 4,65 y EER 4,75), con techo radiante.

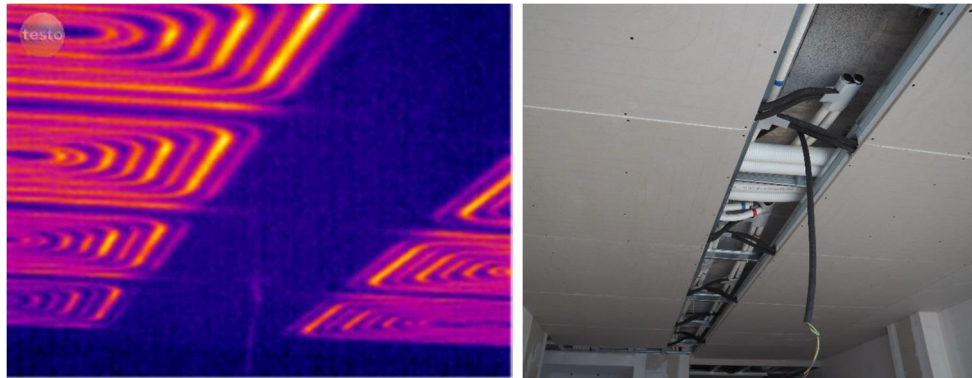


Figura 3. Detalle instalación techo radiante y termografía.

En la instalación de climatización se instalan contadores de energía térmica entregada a la instalación, tanto en el circuito de techo radiante como en el de agua caliente. Además, se instala un contador de energía eléctrica consumida por la bomba de calor. De esa manera se podrá medir con precisión la eficiencia real de la instalación.

También se instalaron en cada vivienda sensores de temperatura ambiente, de humedad relativa y de medida de concentración de CO<sub>2</sub>. Toda esa información se registra a través de una plataforma de monitorización de edificios. Lo que permite hacer un seguimiento del comportamiento de la instalación, tanto desde el punto de vista de confort, calidad del aire y eficiencia energética.

El esquema de la instalación para la producción de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria:

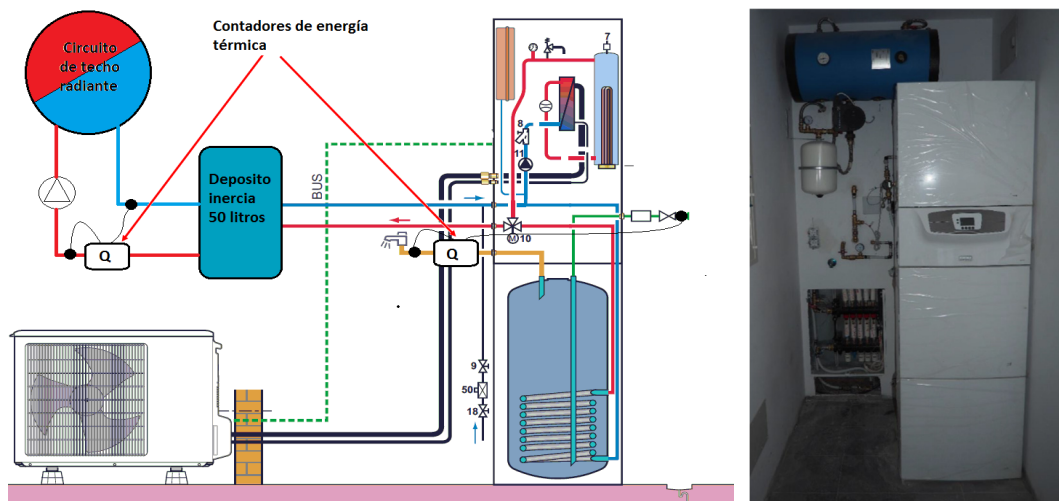


Figura 4. Esquema y fotografía instalación de climatización y ACS.

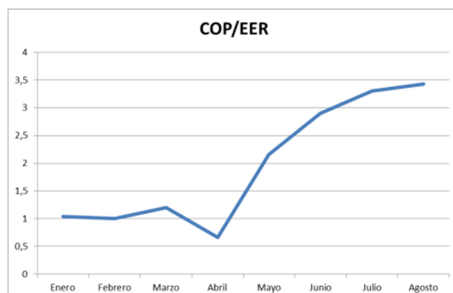
En una de las viviendas se instala un equipo de Energía Solar Térmica para la producción de agua caliente SOLAR EASY 200 de BAXI (sólo en la vivienda P2-1).

La bomba de calor de Aerotermia se compone de una unidad interior, que incluye un depósito acumulador de 220 litros y una unidad exterior que está instalada en la azotea del edificio. El gas refrigerante utilizado es el R410A.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya se cuenta con datos registrados de más de un año. Los primeros resultados han sido útiles para detectar algunos problemas y poder solucionarlos.

Han surgido algunos problemas con las medidas de energía térmica. Los contadores de energía térmica se basan en la medida de caudal del agua de la instalación y el salto térmico entre la ida y el retorno de la instalación. Una lectura incorrecta de las temperaturas, debido a una mala ubicación de las sondas, indicaba una eficiencia de las bombas de calor muy por debajo de lo habitual. En la gráfica se puede observar como al solventar el problema a partir de Mayo, el COP o EER de la bomba de calor entra dentro de valores normales.



Gráfica 1. Evolución de la medición de la BC.

Las medidas de consumo de energía final, en este caso energía eléctrica son correctas desde el primer momento. Esto nos ha permitido hacer un análisis del consumo de energía primaria de la instalación. Tomando los valores de consumo de todas las viviendas y aplicando el factor de paso para la electricidad correspondiente, podemos calcular la Energía Primaria No renovable del edificio en los servicios de climatización y ACS:

Mes	Consumo BC (kWh)	EpNR (cal+ref+acs) (kWh)	EpNR (cal+ref+acs) (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	1.197,57	2340,06	6,76
Febrero	562,49	1099,11	3,18
Marzo	326,29	637,58	1,84
Abril	231,80	452,94	1,31
Mayo	537,91	1051,07	3,04
Junio	1.147,89	2242,98	6,48
Julio	968,75	1892,94	5,47
Agosto	968,36	1892,18	5,47
Septiembre	799,13	1561,51	4,51
Octubre	312,99	611,58	1,77
Noviembre	349,44	682,81	1,97
Diciembre	751,33	1468,11	4,24
		EpNR (cal+ref+acs) (kWh/m <sup>2</sup> .año)	46,05

Tabla III. Análisis Energía Primaria No renovable de todo el edificio.

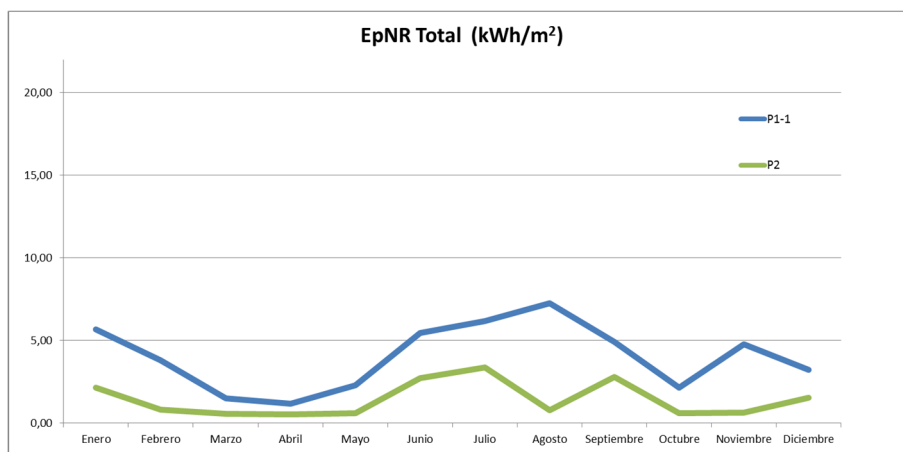
Este valor, aunque es inferior a lo que pide el CTE HE0, es algo superior a lo esperado. La demanda agregada de climatización y ACS estimada en las simulaciones era de 41,3 kWh/m<sup>2</sup>.a. Suponiendo un COP/EER medio de 3, esto supone un consumo eléctrico de 13,76 kWh/m<sup>2</sup>.a. Aplicando el coeficiente de paso a Energía primaria no renovable de la península (1,954 EpNR/E.final) nos da unos **26,9 kWh/m<sup>2</sup>.a.**

Si hacemos el mismo análisis por viviendas, observamos que la vivienda con la instalación de Energía Solar Térmica tiene un comportamiento mucho mejor:

Vivienda P2 (144,3 m <sup>2</sup> ) / 4 personas			
Mes	Consumo BC (kWh)	EpNR(cal+ref+acs) (kWh)	EpNR(cal+ref+acs) (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	159,71	312,07	2,16
Febrero	59,49	116,25	0,81
Marzo	42,90	83,83	0,58
Abril	40,60	79,33	0,55
Mayo	44,45	86,86	0,60
Junio	201,60	393,93	2,73
Julio	249,90	488,30	3,38
Agosto	57,35	112,06	0,78
Septiembre	206,70	403,89	2,80
Octubre	44,00	85,98	0,60
Noviembre	47,40	92,62	0,64
Diciembre	113,50	221,78	1,54
		EpNR(cal+ref+acs) (kWh/m <sup>2</sup> .año)	17,16

Tabla IV. Análisis de Energía Primaria No Renovable de la vivienda P2.

Este valor es mucho mejor. Lo que nos indica que el consumo de ACS tiene mucha importancia en este tipo de edificios. Los consumos de calefacción y refrigeración disminuyen tanto, que el consumo energético del agua caliente se hace muy importante. Comparando esta vivienda con otra, podemos observar como el consumo de ACS, baja el consumo de EpNR de la vivienda con energía solar.



Gráfica 2. Evolución consumo de EpNR viviendas P1-1 y P2.

En las gráficas también se puede apreciar la estacionalidad del consumo energético, y la proporción entre los consumos de calefacción (sólo en meses de invierno), refrigeración (sólo en meses de verano) y ACS (todo el año). Las diferencias entre las tres demandas de energía son muy inferiores a las que obtenemos habitualmente en edificios convencionales.

## NUEVA METODOLOGÍA PARA FOMENTAR MEJORAS EN EECN

**Ana Picallo Pérez**, Doctoranda, Grupo de investigación ENEDI, UPV/EHU  
**Juan María Hidalgo Betanzos**, Investigador doctor, Grupo de investigación ENEDI, LCCE GV  
**José María Sala Lizarraga**, Director, Grupo de investigación ENEDI, UPV/EHU

**Resumen:** Se presenta una nueva herramienta para valorar el comportamiento energético de los EECN y la toma de decisiones en proyecto. Se analiza un ejemplo de unifamiliar pasiva, calculando demandas y consumos de calefacción y ACS con simulación horaria. Se utiliza la exergía para comparar las distintas formas de energía y niveles de calidad; ya que no ofrece las mismas posibilidades de conversión 1 kWh eléctrico que 1 kWh térmico en agua a 80 °C. Se valoran las pérdidas de exergía en las distintas etapas de conversión de la energía, identificando las mayores destrucciones de exergía. El objetivo es mejorar y elegir las tecnologías más idóneas. Los resultados manifiestan las enormes posibilidades de mejora de la eficiencia energética de los EECN.

**Palabras clave:** EECN, Exergía, Calidad, Destrucción de Exergía, Eficiencia

### INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES

El consumo de energía en los edificios ha ido incrementando en estos últimos años, debido al aumento de la población, a la demanda cada vez mayor de ambientes saludables y confortables, etc. En Europa, los edificios son responsables del 40% del consumo de energía final y del 50% de las emisiones de CO<sup>2</sup> a la atmósfera, en tanto que, en España, el sector terciario (residencial y servicios) tiene un peso en el consumo del 28%, desglosado en un 18% las viviendas y un 10% los servicios (Idae, 2013). Además, el sector de la edificación presenta un gran potencial de mejora energética.

Los diferentes tipos de energía tienen distinta capacidad para convertirse en otras formas. Esta disparidad de convertibilidad se refleja mediante la idea de la calidad de la energía, de manera que una misma cantidad de energía tiene más o menos calidad según su capacidad para convertirse en otras formas. Generalmente, entre todas las formas de energía se utiliza una como referencia, el trabajo, y por ello, la calidad de una energía se expresa en virtud de su capacidad para convertirse en trabajo.

De este modo, esta idea de utilidad se define como exergía y expresa la capacidad de una energía para convertirse en trabajo (Tsatsaronis, 2007). Hay formas de energía que se pueden convertir íntegramente en trabajo, como es el ejemplo de la energía eléctrica, de manera que en este caso toda la energía se identifica con la exergía. No obstante, hay otras formas de energía, como en el caso del calor, que solamente una parte se puede convertir en trabajo, por lo tanto, sólo una fracción de un flujo de calor es un flujo de exergía. Así, la exergía permite evaluar cuantitativamente los diferentes niveles de calidad de la energía.

La demanda de energía en los edificios tiene diferentes niveles de calidad. Cabe resaltar que al ser la demanda de calefacción y refrigeración una demanda de energía de baja calidad (su objetivo es mantener la temperatura del aire interior unos pocos grados por encima o por debajo de la del ambiente) no hay una adecuación entre la calidad de la energía utilizada y la de su destino final. En consecuencia, se producen importantes destrucciones de exergía (pérdidas de calidad), que son mucho mayores que las pérdidas de energía. Por lo tanto, reducir las pérdidas y destrucciones de exergía y aumentar por ende la eficiencia en un sistema significa disminuir las irreversibilidades, y, en definitiva, utilizar la energía de un modo más eficiente.

Esto hace pensar que, para reducir el consumo y hacer un uso eficiente de la energía en la edificación, se deben complementar los estudios energéticos basados en el Primer Principio con los estudios exergéticos, que tiene en cuenta también el 2° Principio. Estos análisis deben realizarse tanto para la envolvente del edificio como para sus instalaciones. Además, el objetivo debe ser optimizar todas las fases del proceso: desde el diseño, la construcción y puesta en marcha, el control y hasta el mantenimiento.

### DEMANDA DE EXERGÍA DE UN EDIFICIO. METODOLOGÍA

La demanda de energía de un edificio es la cantidad de energía necesaria en un año para mantener su interior en condiciones de confort para los usuarios. De manera similar, la demanda de exergía es la cantidad de exergía requerida para mantener las condiciones de confort para los usuarios; y por tanto indica el contenido en exergía de la demanda

de energía. De forma más práctica, podríamos decir que la demanda de exergía es el mínimo trabajo requerido para satisfacer la demanda de energía de un edificio.

Para aumentar la eficiencia de los EECN, el suministro de energía debe ser de la mínima calidad requerida, ya que de lo contrario se generaría destrucción de exergía. Un ejemplo ineficiente es la utilización de sistemas de calefacción a alta temperatura, 80 °C, para la calefacción de edificios a 21 °C (Piccallo et al., 2017). En una situación ideal sería satisfacer la demanda de exergía del edificio, empleando la mínima exergía necesaria para cubrir las necesidades energéticas de confort interiores. Cualquier exceso de exergía dará lugar a una destrucción de exergía entre la instalación de generación (calefacción, refrigeración, ACS, etc.) y el punto de demanda. El cálculo de la demanda de exergía se realiza a partir de los cálculos de la demanda de energía convencional. El método detallado, se desarrolla en el Annex 49 (Entrop & Brouwers, 2009) de la AIE.

En el caso de la calefacción, la demanda anual es el balance de pérdidas de calor (transmisión por envolvente considerando la inercia, ventilación e infiltración) menos ganancias (solares e internas).

$$\dot{Q}_{demand} = (\dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{inf}) - (\dot{Q}_{gsolar} + \dot{Q}_{gint}) \quad (1)$$

El factor de calidad (relación entre la exergía y la energía) de la energía interna de un sistema a temperatura  $T_{op}$  es menor que el factor de calidad asociado al calor a esa temperatura  $T_{op}$ . Por tanto, para determinar la demanda de exergía es necesario evaluar en primer lugar qué parte de esa demanda se necesita para calentar (o enfriar) el aire de ventilación, aportando el resto en forma de calor a la temperatura operativa del local.

En definitiva, para calcular la demanda de exergía es necesario separar la demanda en dos componentes: el primero se determina la exergía necesaria para acondicionar el aire de ventilación procedente del exterior y que se mezcla con el aire del recinto. La variación de exergía del aire entre las condiciones del interior y del exterior es la exergía mínima que hay que aportar para acondicionar ese aire. El segundo componente es el resto de la demanda de exergía, si existe, que se debe suministrar como calor a la temperatura operativa  $T_{op}$ .

Efectuado el balance de energía, se compara la demanda total de energía  $\dot{Q}_{demand}$  con las pérdidas por ventilación. Si éstas fueran menores que la demanda total, el aire de ventilación se tiene que calentar hasta la temperatura del interior del recinto  $T_{op}$ , lo que supone una aportación mínima de exergía, que se puede calcular con la expresión:

$$\dot{B}_{vent} = \dot{Q}_{vent} \cdot \left[ 1 - \frac{T_0}{(T_{op} - T_0)} \cdot \ln \left( \frac{T_{op}}{T_0} \right) \right] \quad (2)$$

donde  $\dot{Q}_{vent}$  es el calor que hay que aportar para calentar el aire hasta la temperatura del recinto:

$$\dot{Q}_{vent} = \dot{m}_{vent} \cdot c_p \cdot (T_{op} - T_0) \quad (3)$$

La diferencia entre la demanda total y este calor  $\dot{Q}_{vent}$  se debe aportar como calor al recinto, a la temperatura  $T_{op}$ , de manera que la exergía complementaria a aportar es:

$$\dot{B}_Q = \left( 1 - \frac{T_0}{T_{op}} \right) \cdot (\dot{Q}_{demand} - \dot{Q}_{vent}) \quad (4)$$

En caso de que la demanda total sea menor que las pérdidas por ventilación, el aire no necesita ser calentado hasta la temperatura  $T_{op}$  y no se requiere calor adicional, ya que éste es aportado por las ganancias internas y solares. La temperatura a la que habrá que calentar el aire será:

$$\Delta T_{vent} = \frac{\dot{Q}_{demand}}{\dot{Q}_{vent}} \cdot (T_{op} - T_0) \quad (5)$$

y por lo tanto la exergía total a aportar será:

$$\dot{B}_{vent} = \dot{Q}_{vent} \cdot \left[ 1 - \frac{T_0}{\Delta T_{vent}} \cdot \ln \left( \frac{\Delta T_{vent} + T_0}{T_0} \right) \right] \quad (6)$$

En el caso de la refrigeración, cuando  $T_0 > T_{op}$  todos los flujos naturales de energía representan ganancias no deseadas, de manera que siempre se va a cumplir que  $\dot{Q}_{demand} > \dot{Q}_{vent}$ . En consecuencia, el aire de ventilación siempre necesita ser enfriado hasta la temperatura  $T_{op}$ . Sin embargo, en el caso de refrigeración en que  $T_0 < T_{op}$ , la



necesidad de enfriamiento (salida de energía) no representa una demanda de exergía, sino más bien es una cesión de exergía no deseada. Esta exergía es cedida al edificio por las ganancias internas y podría ser de alguna manera recogida y aprovechada como calor a la temperatura  $T_{op}$ . En todas estas situaciones, se comprueba que la demanda de exergía es alrededor del 10% de la de energía (en función de  $T_0$  y  $T_{op}$ ).

## CASO DE ESTUDIO. RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

Para familiarizarse con este método explicado anteriormente y comprender mejor el uso de la exergía en la edificación, se ha aplicado en un ejemplo de edificio de consumo energía casi nulo. Se ha seleccionado una casa unifamiliar (Figura 1 a) con una superficie de 176 m<sup>2</sup> y ubicado en Álava, en zona climática D1.



Figura 1. Vivienda unifamiliar monitorizada en Álava (a) y sus instalaciones de calefacción y ACS (b).

Las instalaciones térmicas consisten en una estufa de biomasa modulable (2.4 - 9 kW) para calefacción. El ACS se produce mediante una combinación de un colector solar (1 módulo de 2.3 m<sup>2</sup>) que precalienta el agua y una bomba de calor aerotérmica aire-agua (3.6 kW) con almacenamiento interno de 300 l (Figura 1 b). La vivienda tiene recuperador de calor en la ventilación y no existe refrigeración activa. La demanda anual de calefacción es menor de 15 kWh/m<sup>2</sup> a y tiene la certificación Passive House (Hidalgo, 2017).

## Estudio de la envolvente

Los datos de calefacción se han calculado en un modelo de simulación dinámica en EnergyPlus, validado mediante una monitorización durante 1 año (Hidalgo et al., 2015). El cálculo horario de ACS se ha realizado mediante una simulación de la vivienda en condiciones estándar de 5 personas con TRNSYS v17.

De este modo, se obtienen los valores horarios de demanda energética, de acuerdo con el balance representado en la ecuación (1) donde las entradas se compensan con las salidas. La Figura 2 a) muestra el balance energético anual por m<sup>2</sup> de vivienda y la Figura 2 b) el balance exergético. Es de resaltar la enorme diferencia que existe entre esos valores, así como el hecho de que las destrucciones de exergía representan el 21% de la demanda total de exergía de la vivienda.

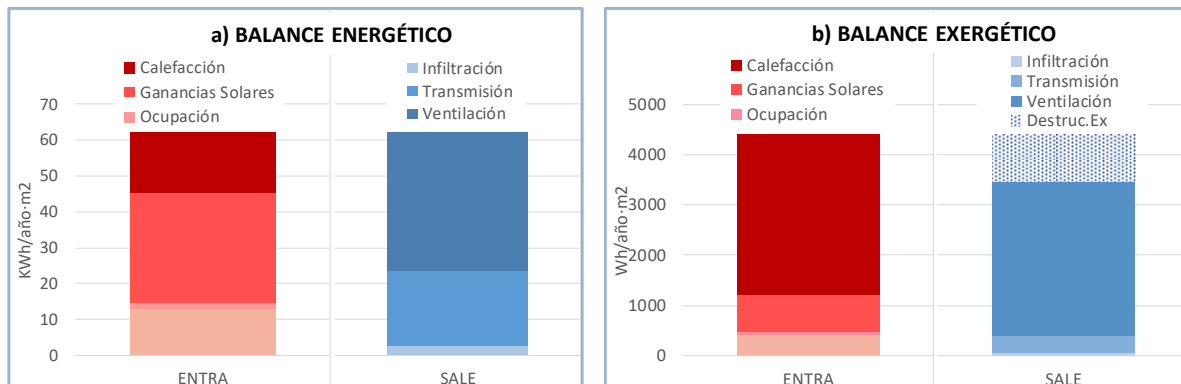


Figura 2. Balance energético (a) y exergético (b) para la calefacción.

En la Figura 3 a) se presentan los valores de las ganancias y pérdidas mensuales obtenidos en términos de energía, mientras que en la Figura 3 b) se representan los valores de la exergía (nótese que la escala del kWh/mes del gráfico b) es 5 veces menor). Además, se han añadido los perfiles de temperatura exterior  $T_{ext}$  y el de la temperatura operacional del edificio  $T_{op}$  de forma que se comprendan mejor las demandas.

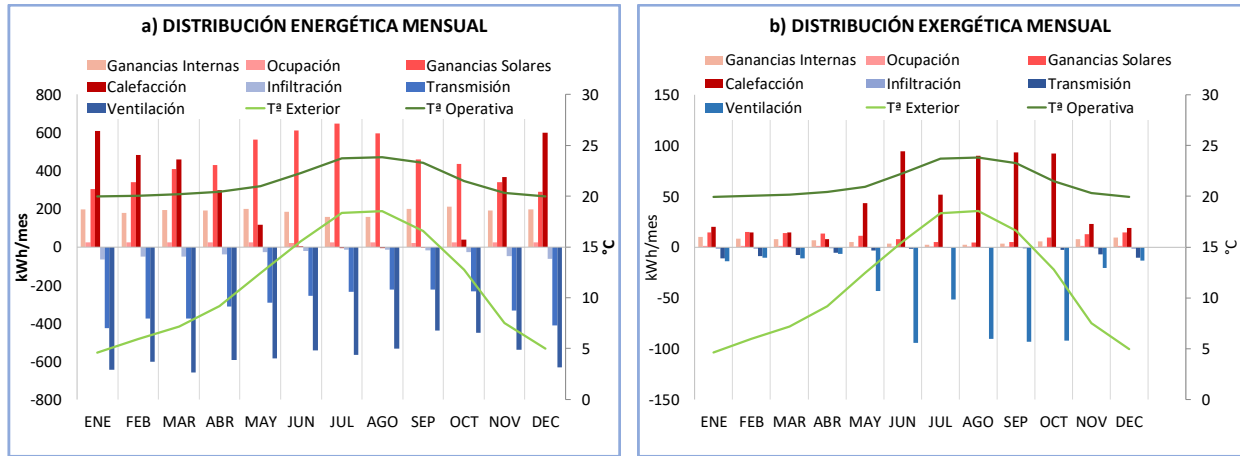


Figura 3. Ganancias y pérdidas mensuales energéticas (a) y exergéticas (b).

En la Figura 4 a) se presentan las demandas horarias de calefacción energía y exergía para el día 15 de febrero. Adicionalmente, se han añadido la  $T_{ext}$  así como el factor exergético. Así mismo se ha obtenido la demanda de ACS, para lo que se ha utilizado el perfil horario obtenido mediante el software IEA-SHC Task26 (Ulrike Jordan, 2003). La demanda anual de ACS en energía es de 459 kWh/año·pers, y en exergía 46 kWh/año·persona. La Figura 4 b) representa la demanda de energía y exergía para el ACS en ese mismo día 15 de febrero.

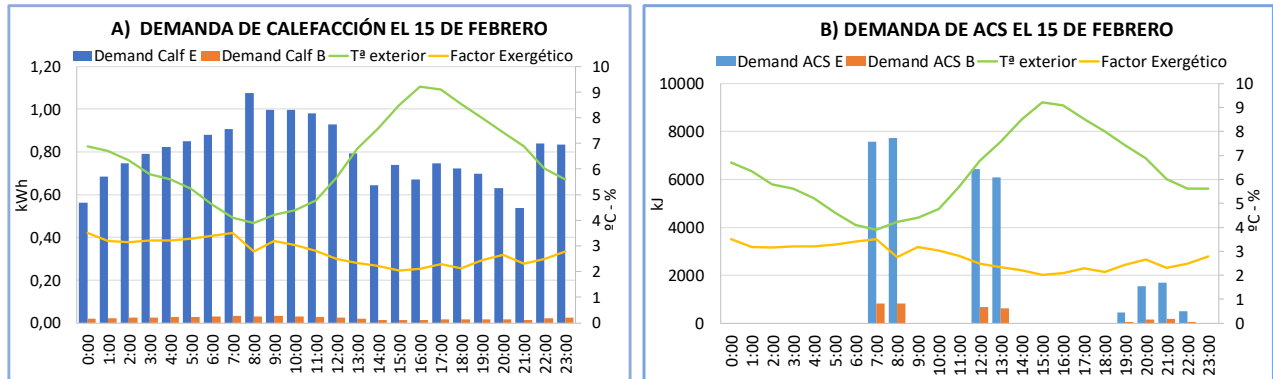


Figura 4. Demandas horarias energéticas y exergéticas de calefacción (a) y ACS (b), de un día tipo de invierno.

## Estudio de las instalaciones

Uno de los aspectos más útiles de la metodología basada en exergía es la localización de las ineficiencias debidas a las transformaciones de energía. La Figura 5 ilustra la cadena de transformación energética (en energía y exergía) para el circuito de ACS ( $En_{ACS}$  y  $Ex_{ACS}$ ), para la calefacción ( $En_{calif}$  y  $Ex_{calif}$ ), así como para el Total ( $En_{TOT}$  y  $Ex_{TOT}$ ). Las etapas de esta cadena son: energía primaria, generación, distribución, almacenamiento y demanda final. La simple observación del perfil de exergía nos indica dónde ocurren las mayores destrucciones exergéticas, que se producen tanto en la transformación de energía primaria para calentar el agua del circuito, como en la salida de los tanques para cubrir la demanda final del usuario. Así mismo, se muestran las grandes diferencias de escala que hay entre la exergía y la energía. Esta diferencia es el parámetro es precisamente el que señala la capacidad de hacer trabajo útil.

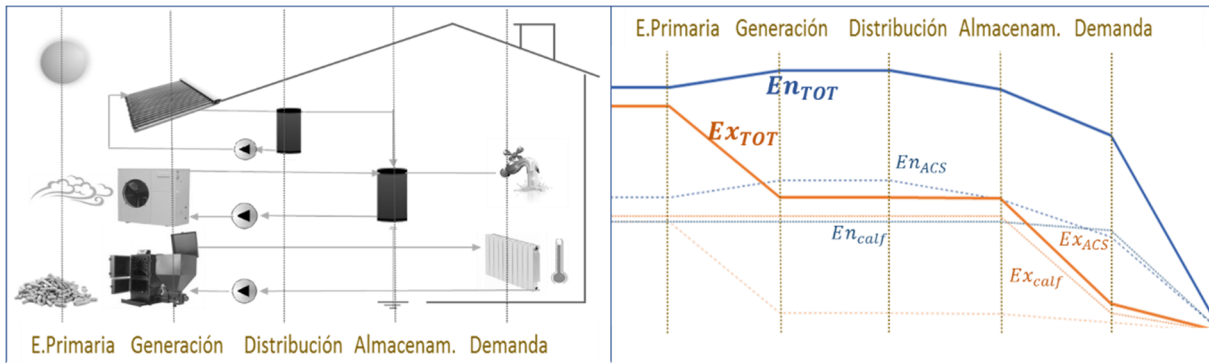


Figura 5. Cadena de transformación energética y exergética en las instalaciones térmicas.

## Estudio de costes

El coste medio del kWh de calefacción es  $6.89 \frac{c\text{€}}{\text{kWh}}$ . Los costes de ACS corresponden a  $21.81 \frac{c\text{€}}{\text{kWh}}$  cuando se genera exclusivamente con la bomba de calor y se reducen a  $17.99 \frac{c\text{€}}{\text{kWh}}$  gracias al aporte solar térmico. En estas cantidades también se han incluido los costes de adquisición y amortización de los equipos.

## DISCUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

Los análisis energéticos convencionales están basados en el Primer Principio de la termodinámica. Ese tipo de análisis están limitados a una simple contabilidad energética, que cuantifica las entradas y salidas de energía en el sistema o edificio. De esta forma, la energía que se aporta en los procesos con los combustibles, electricidad, flujos de materia, etc., debe encontrarse en los productos o subproductos. Bajo esta perspectiva se consideran como pérdidas las salidas de energía que no son utilizadas.

Del mismo modo, el rendimiento o eficiencia de los procesos y equipos se expresa habitualmente mediante coeficientes basados en el Primer Principio. Pese a que existen diversas maneras de expresar estos rendimientos, ninguna de ellas tiene en cuenta la calidad de la energía. En consecuencia, se asigna el mismo rendimiento a las distintas formas de la energía, independientemente de su calidad. Ello da origen a una serie de inconvenientes en la interpretación de la eficiencia de los equipos. Por ejemplo, el hecho de que el rendimiento de la máquina de Carnot sea el factor de Carnot y no la unidad (que es lo que uno espera para la máquina perfecta), según la idea comúnmente aceptada de rendimiento. Por otro lado, la eficiencia de una bomba de calor que se expresa mediante el COP, un índice siempre mayor que la unidad, etc. De este modo, la eficiencia de grandes centrales termoeléctricas, que se encuentran entre los sistemas de conversión de energía más eficientes, presentan rendimientos bajos (entre ~ 40-55%), mientras que las calderas individuales de calefacción, que termodinámicamente son aparatos mucho menos eficientes, aparecen con unos elevados rendimientos (~ 90%).

Por el contrario, las definiciones de la eficiencia basadas en la exergía describen mejor la manera en que se utilizan los recursos y proporcionan una guía más clara acerca de las posibles mejoras que pueden introducirse. Esto especialmente útil en edificios con bajas demandas de energía, como los EECN. La destrucción de exergía es una medida válida de la irreversibilidad de un proceso: el método exergético permite valorar directamente las pérdidas reales de los procesos, es decir, evalúa la disminución en el trabajo disponible de cada una de las fuentes energéticas utilizadas, desde el inicio hasta el final de cada proceso considerado.

Sin embargo, el método exergético no permite determinar el efecto de las irreversibilidades de cada equipo sobre el consumo adicional de recursos globales, es decir, no permite determinar el impacto en el consumo de combustible ocasionado por el funcionamiento inadecuado de un equipo determinado. Para alcanzar ese objetivo se desarrolla la Termoeconomía (Picallo et al., 2016), que combina el Segundo Principio con conceptos económicos. Desarrolla el concepto de coste exergético de cada flujo, que es la exergía consumida para producir el flujo, calculada a partir de su proceso de formación. Es el coste exergético el factor de peso de cada irreversibilidad sobre el consumo de recursos globales, pero para determinar esos costes exergéticos (Picallo et al. 2017), además de las exergías de los flujos, es

necesario definir la estructura productiva de la instalación. Este tipo de análisis es especialmente adecuado para las instalaciones a mayor escala, como por ejemplo en las centrales de distrito o district heating.

## AGRADECIMIENTOS

La autora, Ana Picallo, agradece y reconoce el apoyo que le ha proporcionado el Ministerio de Educación del Gobierno español a través de una beca otorgada para completar su doctorado. Los autores, además, dan las gracias también al Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación (LCCE) del Gobierno Vasco por los datos del caso de estudio y la monitorización de la vivienda. Finalmente, agradecer a la familia Uriarte por su disposición y colaboración durante la monitorización de la vivienda; y a CLIM arquitectura por los datos del proyecto del caso de estudio.

## REFERENCIAS

- IDAE. Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32(4), 249-253.
- Picallo, A., Sala JM, Pérez D, Gomez I (2017). Aplicación de la Termoeconomía para una gestión inteligente de instalaciones de climatización. 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo.
- Entrop, A. G., & Brouwers, H. J. H. ECBCS Annex 49.
- Hidalgo JM, Dissertation (2017): Adaptation of single-family houses to the nZEB objective In cool-temperate climates of Spain
- Hidalgo JM, Psomas T, García-Gáfaro C, Heiselberg P, Millán JA. Overheating Assessment of a Passive House Case Study in Spain. 36th AIVC Conference. Madrid, 2015.
- Ulrike Jordan K. IEA-SHC Task 26, Tool for the Generation of Domestic Hot Water (DHW) Profiles on a Statistical Basis
- Picallo, A., Escudero, C., Flores, I., & Sala, J. M. (2016). Symbolic thermoeconomics in building energy supply systems. *Energy and Buildings*, 127, 561-570.
- Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., & Escudero-Revilla, C. (2017). A comparative analysis of two thermoeconomic diagnosis methodologies in a building heating and DHW facility. *Energy and Buildings*, 146, 160-171.

# MÁS ALLÁ DE LA DEFINICIÓN EECN, PARÁMETROS INTRÍNSECOS EN LOS EDIFICIOS

**Silvia Herranz García**, Responsable Técnico, URSA Ibérica Aislantes

**Resumen:** Los edificios que satisfagan los requisitos mínimos que vaya dictando el CTE en cada momento, se consideraran EECN, según el RD 564/2017, una definición que contempla los elementos básicos de diseño de los edificios, como son orientación, compacidad, ganancias y pérdidas energéticas, cerramientos, carpinterías, instalaciones, etc. Pero no son los únicos parámetros que van de la mano de esta definición, en esta comunicación se tratará de clarificar ciertas inquietudes que van apareciendo con el estudio en profundidad de los edificios, como son el consumo de energía a la hora de fabricar los componentes que se vayan a utilizar, así como parámetros de confort y salubridad, entre otros y que ayudaran a demandar este tipo de construcciones.

**Palabras clave:** Análisis Ciclo Vida, Etiqueta Emisiones Aire Interior, Confort, Salubridad, Energía, Parámetros

## INTRODUCCIÓN

Según el RD 564/2017, los edificios que satisfagan los requisitos mínimos que vaya dictando el CTE en cada momento, se consideraran EECN, es una definición que contempla los elementos básicos de diseño de los edificios, como son orientación, compacidad, ganancias y pérdidas energéticas, cerramientos, carpinterías, instalaciones, etc. Es un concepto que se refiere a la energía consumida del edificio a lo largo de su uso de funcionamiento, aunque no especifique un valor final, da cabida a que a medida que existan actualizaciones en el CTE, vaya evolucionando y se adapte a las necesidades que especifique la normativa en cada momento.

Las estrategias de la Unión Europea quedan claras en su hoja de ruta, que serán las directrices de las actualizaciones del CTE, por lo que la definición de EECN, se irá endureciendo, para reducir la energía que se consume en Europa, que en estos momentos asciende al 40% del total.

El parámetro que se tiene en cuenta a la hora de EECN, es a través de una simulación energética del edificio, según las determinadas prestaciones que se le han ido dando al proyecto, se obtendrá un valor u otro, en estos momentos el CTE DB HE- Ahorro de energía, especifica valores en función de diferentes indicadores.

Existen parámetros dentro del proceso de edificación que pueden ayudar a cuantificar con mayor exactitud la energía que se emplea en un edificio, como es la embebida dentro de la utilización de unos u otros materiales, no solo a nivel prestacional del edificio en su uso.

La metodología de análisis de ciclo de vida del edificio permite cuantificar los diferentes indicadores en las diferentes etapas de un proyecto, desde la extracción de las materias primas hasta la deconstrucción del edificio. La estrategia de la economía circular hace que los ciclos de vida de vayan conectando y mejoren la utilización de residuos, consumos de energía, etc., todo ello de la mano de una especialización de los trabajos necesarios para llevar a cabo las diferentes estrategias que tiene en marcha la Unión Europea.

A todo ello, hay que sumar las diferentes iniciativas en el mercado, que llevan intrínseco una valoración de la energía consumida en el edificio, así como otros indicadores, en materia de confort, salubridad... las más destacadas son las certificaciones de sostenibilidad de edificios, tales como LEED, BREEAM, WELL, PASSIVHAUS, VERDE, etc., el listado es extenso, pero estas son las más comunes en España.

Los pasos previos a una definición de EECN, han sido la reducción de la demanda del edificio, utilizando un aumento progresivo en los espesores de aislamiento térmico, y a principios de siglo se empezó a definir el ahorro de energía, por lo que los siguientes pasos son la ampliación de parámetros que formen y ayuden a medir con exactitud el concepto de EECN.

## ANÁLISIS DE PARÁMETROS INTRÍNSECOS DE LOS EDIFICIOS

Existen ciertas inquietudes que van apareciendo a medida que se profundiza en el estudio de los edificios, principalmente en la parte medioambiental de ellos, donde se amplían nuevos parámetros que se pueden incluir en el consumo de energía global del edificio, pero se están haciendo avances en términos como el confort y la salubridad,

que van de la mano, y que es información más cercana al usuario, debido al lenguaje que utilizan, por lo que si se crea conciencia y se fomentan, pueden demandar este tipo de edificios, que son más cuantificables y de mayor exactitud en consumo de energía, entre otros parámetros.

Hay que destacar en términos medioambientales el análisis de ciclo de vida, en salubridad el tema de calidad del aire interior y el confort, en los siguientes se desarrollarán estos 3 conceptos.

## ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

Para hacer más preciso y exacto el valor de energía que se utiliza en un edificio, se tiene que analizar no solo el consumo en la fase de uso, sino en su ciclo de vida completo, y para ello la alternativa más implementada y testeada es el análisis de ciclo de vida, en la que se basa la economía circular, y que tiene una normativa asentada en el sector de la edificación y un lenguaje propio que hace que sea más sencillo de utilizar.

El análisis de ciclo de vida realiza distinción por etapas y módulos en el ciclo de vida, considerando la producción, construcción, utilización, fin de vida útil y deconstrucción, en la siguiente tabla se pueden observar estos datos, siendo este esquema común a todos los elementos de los edificios para poder agregarlos de manera adecuada:

Etapas y módulos del ciclo de vida considerados													
Etapa de producción	Etapa de construcción		Etapa de utilización					Etapa de fin de vida útil				D Beneficios y cargas más allá de las fronteras del sistema	
A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Utilización	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía	B7 Uso de agua	C1 Deconstrucción / Demolición	C2 Transporte		C3 Tratamiento de residuos

Tabla 1. Etapas y Módulos de Ciclo de vida.

Los parámetros que se evalúan en el ACV son de los impactos ambientales, de los residuos, de los flujos salientes en los cuales, hay que destacar la energía eléctrica, de vapor, de gas y de proceso, suministrada al exterior, siendo valores que se podrían utilizarse para el balance global de consumo de energía en EECN.

Y como últimos parámetros extraídos del ACV, están el consumo de recursos, que tienen mayor relevancia en el tema de EECN, como son la utilización:

- De energía primaria renovable, excluidos los recursos de energía primaria renovables utilizados como materias primas
- De los recursos de energía primaria renovables utilizados como materias primas
- Total de los recursos de energía primaria renovables (energía primaria y recursos de energía primaria utilizados como materias primas)
- De la energía primaria no renovable, excluidos los recursos de energía primaria no renovables utilizados como materias primas
- De los recursos de energía primaria no renovables utilizados como materias primas
- Total de los recursos de energía primaria no renovables (energía primaria y recursos de energía primaria utilizados como materias primas)
- De combustibles secundarios renovables y no renovables

Estos datos ayudarían a realizar una simulación del consumo de energía necesaria para todo el edificio, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida del edificio donde se pueden extraer datos de consumo de energía.

Otro parámetro referente al alcance del ciclo de vida de un edificio, es la adaptación al cambio climático y que menciona el borrador de Level(s), que consiste en añadir posibles escenarios producidos por el cambio climático, es

decir, estimar posibles situaciones en las que el edificio, por su emplazamiento, tipología, uso, etc., va a sufrir una serie de alteraciones en su comportamiento energético.

Teniendo en cuenta en el balance energético global del edificio el consumo de energía, debido a la iluminación, refrigeración, calefacción, etc., necesaria para conseguir condiciones de confort en el interior. Lo ideal será que vayan en consonancia con la hoja de ruta de la Unión Europea, por lo que deberían definirse para el periodo de 2030 y el 2050.

## CONFORT

Existen diferentes certificados de sostenibilidad, cuyo enfoque está más centrado en la parte medioambiental, aunque si tienen algunos criterios que se refieren al confort, como el comportamiento acústico, térmico e incluso iluminación, como es el caso de LEED, BREEAM y VERDE, aunque estos parámetros si son recogidos en la normativa española, ya sea en los documentos básicos de CTE o en Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios (RITE), como son las temperaturas de confort, las velocidades del aire en sistemas de climatización, los lúmenes en un espacio, el aislamiento acústico, etc.. Sin duda son indicadores de confort que son perceptibles por los usuarios.

Sin embargo, la certificación WELL [1] hace referencia en una de sus categorías al confort (confort térmico, térmico radiante, térmico individual, olfativo, reducción en ruido de impacto, tiempo de reverberación, ruido exterior, ruido generado en el interior, ergonomía, etc.), tiene en cuenta otras categorías como son la nutrición, agua, la iluminación, la mente, actividad física, calidad del aire, etc.

Siendo unos parámetros que se pueden incluir, al menos como guía de buenas prácticas en las edificaciones tanto nuevas como existentes, y que sirvan de concienciación del uso y la interacción con los espacios en los que se viven, esto ayudara a percibir los EECN, como una realidad y no como una obligación normativa.

## SALUBRIDAD

Existe otra categoría en la certificación WELL, que habría que destacar que es la de calidad del aire interior, algunos de sus parámetros están cuantificados y reglados por la normativa española, pero hay otros que no existe ni normativa europea específica, y que sin duda es perceptible por los usuarios de los edificios.

Esta categoría contempla filtraciones de aire, gestión de la polución, control de microbios y mohos, protocolos de limpieza, gestión de la humedad, estándares de calidad de aire, etc. sin duda son parámetros que ayudarían a crear conciencia.

En el caso relativo a los estándares de calidad del aire, se está trabajando desde la administración en el proyecto CARE [2] para el controlar el radón, y en el caso de emisiones en el aire interior, no existe todavía normativa europea.

Revisando la normativa en diferentes países de la UE, Francia destaca a nivel mundial, dado que según la orden ministerial del 19 de abril de 2011 [3], establece que los materiales relacionados con la calidad del aire interior e incluye también los aislantes, aunque no estén en contacto con el aire, tienen la obligación de ensayarse bajo los métodos de ensayo de los parámetros que se determinen para cada material según la ISO 16.000-3, ISO 16.000-6, ISO 16.000-9, ISO 16.000-10, ISO 16.000-11.



Figura 1. Etiqueta de Emisiones en el aire interior: A+.

La normativa francesa establece 4 clases que establecen los límites de 11 contaminantes que son evaluados y siendo la Etiqueta de emisiones en el aire interior: A+.

Al igual que en el apartado anterior, el hecho de que se realice comunicaciones y guías de buenas practicas, crea conciencia y ayuda a reforzar el concepto de EECN.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones principales se podrían destacar:

La metodología basada en el análisis de ciclo de vida (ACV), es una herramienta perfecta para realizar un balance completo de la energía empleada en un edificio a lo largo del ciclo de vida, es posible incluir parámetros de adaptación al cambio climático, que incluyen escenarios posibles basados en el ACV, para el periodo hasta el 2030 y el de 2050, fechas relevantes en la hoja de ruta de la UE.

Las iniciativas y proyectos que hacen partícipes a los usuarios y que muestran parámetros perceptibles, ayudan a concienciar sobre el uso del edificio, siendo vías necesarias para llegar a los habitantes que hagan un buen uso de la energía que se consume en los edificios. El confort y la salubridad son dos patas cercanas a los usuarios, y que pueden permitir ser caminos de conexión para concienciar sobre los EECN.

## REFERENCIAS

- JRC Technical Reports. 2017. Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. European Commission.
- Real Decreto 564/2017. Boletín Oficial del Estado, Madrid, España, 2 de junio de 2017.

## Notas al Final

[1] <https://www.wellcertified.com/en/explore-standard>. 2017

[2] <http://www.dicat.csic.es/rdcsic/index.php/tecnologias-fisicas-2/117-proyectos/411-un-proyecto-desarrollara-un-sistema-automatico-para-controlar-el-radon> 2017<sup>1</sup>

[3] <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2011/4/19/DEVL1104875A/jo>. 2011



## ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS DE LOS PAÍSES DE NUESTRO ENTORNO PARA ALCANZAR EECN

**Yago Massó Moreu**, Director Técnico, ANDIMAT (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes)

**Resumen:** Los Estados miembros para cumplir con la Directiva 2010/31/UE deben definir los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN) y establecer los requisitos mínimos de eficiencia energética, basados en cálculos de optimización de costes según la metodología propuesta por la Comisión. Esta comunicación pretende dar a conocer las estrategias fijadas en otros países de nuestro entorno (Francia, Italia, Portugal) y Dinamarca, para conocer otra experiencia de un país del norte de Europa, sobre las definiciones de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN) y los indicadores de consumo y demanda energética que ha fijado cada país. Se analizan las definiciones e indicadores de los edificios de nueva construcción y existentes y las distintas experiencias que ha realizado cada Estado miembro para conseguir edificios existentes de nivel EECN.

**Palabras clave:** EECN, nZEB, Definición, EPBD, Eficiencia Energética, Requisitos, Edificios, Rehabilitación

### INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de esta comunicación es proporcionar información sobre la implementación de los planes nacionales fijados por los países de nuestro entorno para cumplir con la Directiva 2010/31/UE. De acuerdo con la Directiva, cada estado miembro debe definir los Edificios de Energía Casi Nula (EECN) de acuerdo con sus condiciones nacionales, regionales o locales y debe incluir al menos un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m<sup>2</sup> al año.

La implementación de EECN se debe basar en la metodología propuesta por la Comisión, Reglamento Delegado (UE) nº 244/2012 de la Comisión, de 16 de enero de 2012, para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos. Los estados miembros analizados en esta comunicación son los países de nuestro entorno que presentan climatologías similares a las de España, es decir Francia, Italia y Portugal. Se presentan las definiciones EECN y los indicadores numéricos que existen a día de hoy (septiembre 2017) y por último se incluye la definición e indicadores fijados por Dinamarca como experiencia ejemplar. No se pretende comparar la normativa de cada país sino facilitar información sobre los enfoques propuestos en cada caso y así conocer qué se están haciendo nuestros países vecinos.

### Francia

Los requisitos adoptados por la regulación francesa vienen definidos en la RT 2012 [1] que aplica a edificios nuevos residenciales y no residenciales. Los requisitos de eficiencia energética se fijan en 50 kWh/m<sup>2</sup>.año de energía primaria. Los requisitos mínimos se ajustan en función de la zona climática y la altitud. Los valores requeridos se encuentran entre 40 a 65 kWh/m<sup>2</sup>.año para edificios residenciales de nueva construcción en función de la zona climática (véase la figura 1) y la energía primaria límite de 70 ó 110 kWh/m<sup>2</sup>. año para edificios no residenciales sin aire acondicionado (A/C) o con A/C, respectivamente.

Para alcanzar edificios de energía positiva algunas empresas de la construcción proponen lo siguiente:

1. Mejorar la calidad térmica de toda la envolvente del edificio mediante un adecuado aislamiento continuo, que no presente puentes térmicos y cerramientos acristalados con altas prestaciones térmicas; tanto en los marcos como en los vidrios de aislamiento térmico reforzado con triple acristalamiento y protección solar adecuada para cada orientación y estación del año.
2. Instalación de un recuperador de calor que permita regular la pérdida de calor debida a la ventilación tanto en verano como invierno.
3. El sistema de agua caliente sanitaria que disponga de un recuperador con una bomba de calor y la instalación de placas solares fotovoltaicas.

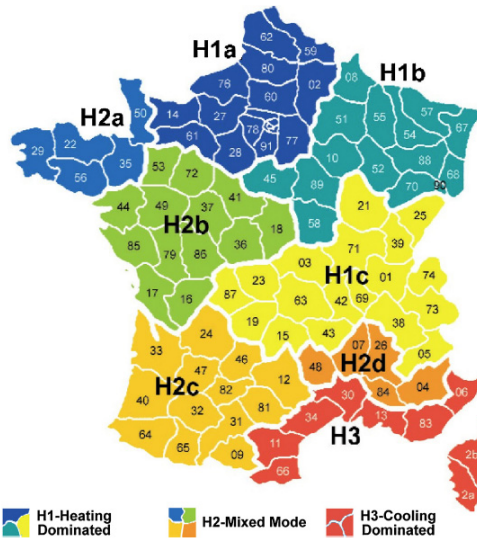


Figura 1. Zonas climáticas de Francia basadas en climatologías predominantes en refrigeración, calefacción o en ambas [3].

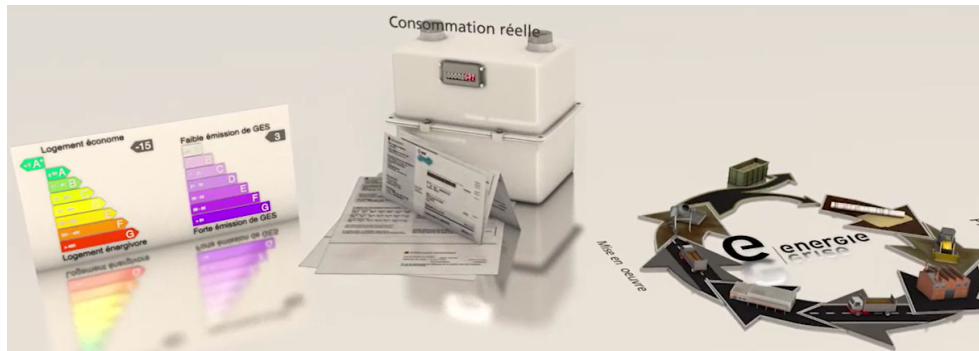


Figura 2. Enfoque BEPOS (Bâtiment à énergie positive), parte de una etiqueta energética de energía positiva que se verifica con los consumos reales en función de la ocupación y uso y por último el análisis de ciclo de vida del edificio.

Actualmente se está preparando una evolución de la actual Regulación térmica RT2012 hacia una evaluación medioambiental que incluya adicionalmente el análisis de ciclo de vida de los nuevos edificios (RE2018 y RE 2020). La futura normativa RE2018 prevé que todos los edificios nuevos serán de energía positiva en el año 2020 (BEPOS [2] *Bâtiment à énergie positive*) En la Figura 2 se muestra la aproximación de BEPOS y las etiquetas de eficiencia energética de los edificios de energía positiva en la Figura 3.



Figura 3. Ejemplo de una etiqueta BEPOS (Bâtiment à énergie positive) que muestra la energía y emisiones de la vivienda.

Los proyectistas deberán tener en cuenta el enfriamiento pasivo, optimizar el factor de diseño bioclimático que tenga en cuenta la compacidad, superficies de los huecos, orientación, inercia térmica, permeabilidad al aire, etc. Las viviendas unifamiliares y en bloque se diseñarán sin sistemas activos de climatización.

Para el caso de los edificios existentes residenciales, aquellos edificios que se rehabiliten se considerarán EECN si alcanzan un nivel más eficiente que el nivel definido en la regulación (80 kWh/m<sup>2</sup>.año de energía primaria). Los edificios no residenciales existentes que dispongan de A/C necesitan alcanzar una disminución del 40 % en el consumo de energía primaria.

## Italia

EECN se define como un edificio que se comporta mejor que un edificio de referencia (simulado) idéntico al original. Primero en términos de demanda energética de calefacción y refrigeración, donde se fijan unos requisitos mínimos como por ejemplo, valor U del edificio en función de la compacidad y zona climática (véase la figura 4). Luego se fijan otros requisitos que deben cumplirse con respecto a la generación térmica de fuentes renovables, eficiencia de los sistemas térmicos, etc. El consumo de energía primaria no renovable se calcula mensualmente y la energía primaria renovable no puede compensar el exceso de demanda en invierno. El uso de fuentes renovables debe cubrirse como mínimo en 50% y la potencia pico eléctrica fotovoltaica debe ser como mínimo de  $P \geq 2 [(W/m^2)] \cdot S[m^2]$ . Todos estos objetivos se verán incrementados en un 10% para edificios públicos.

Por tanto a día de hoy, no se fija un valor en kWh/m<sup>2</sup>.año. Los valores de U límites de la normativa italiana son superiores a los recomendados para edificios con certificación Passivhaus (0,15 W/m<sup>2</sup>.K) y no se fijan valores límite de permeabilidad al aire o infiltraciones indeseadas en el edificio.

Los requisitos para edificios existentes para denominarse EECN son iguales que para los edificios de nueva construcción, según el Decreto [4] de 26 de junio de 2015. Acciones similares al programa "Conto Termico" puede facilitar incentivos fiscales y económicos que fomenten la rehabilitación.

Italia fijó en su normativa objetivos intermedios en el año 2015 poder cumplir de forma escalonada con mayores exigencias y alcanzar EECN, aunque finalmente saltaron dichos escalones.

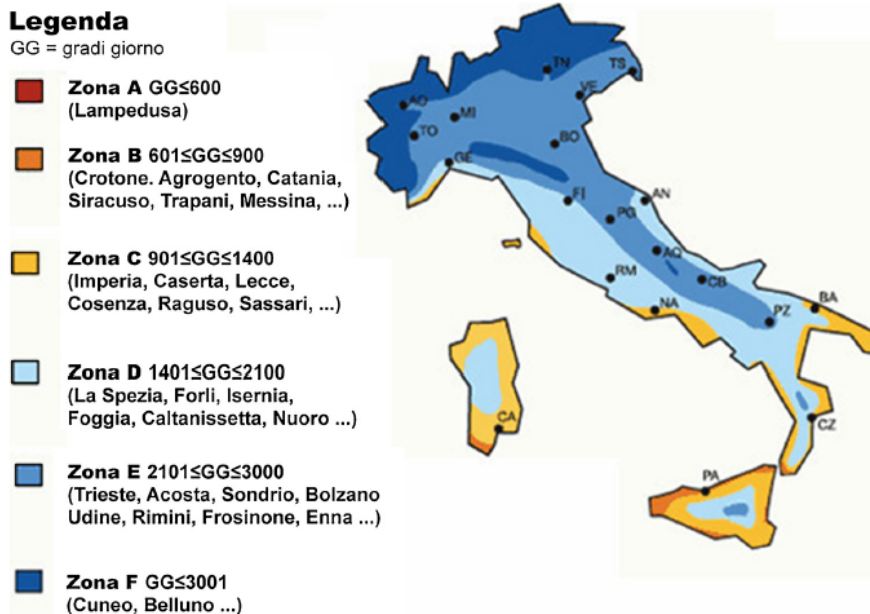


Figura 4. Zonas climáticas de invierno de Italia (D.P.R. 412/93), dónde GG son Grados día.

## Portugal

Actualmente la definición de EECN está en desarrollo, pero los indicadores en energía primaria propuestos a la Comisión [5] son de 60 a 75 kWh/m<sup>2</sup>.año para edificios de nueva construcción residenciales y 45-70-190 kWh/m<sup>2</sup> .año para los no residenciales en función de la tipología de edificio.

El decreto ley 118/2013 [6] de 20 de Agosto 2013, fija unos requisitos de los elementos de la envolvente en valores de U [7] y la eficiencia de los sistemas de generación de energía e iluminación en caso de edificios no residenciales. En la tabla I se fijan los valores actuales de transmitancia térmica para la envolvente de los edificios según las zonas climáticas (Véase figura 5), que deberá modificarse para alcanzar EECN. No se prevén límites en permeabilidad al aire debido a infiltraciones en el edificio.

La regulación actual no especifica requisitos para alcanzar EECN en edificios existentes ni trata la rehabilitación hacia EECN. Portugal es el país de la Unión Europea que presenta mayor índice de mortalidad en invierno [8] debido a un escaso endurecimiento de la regulación en materia de aislamiento de la envolvente (cubiertas, fachadas y suelos).

El Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ha desarrollado un modelo de confort térmico adaptativo basado en la norma ASHRAE 55 y la norma UNE-EN 15251. Si bien las condiciones climáticas, entorno económico y hábitos culturales apuntan a establecer políticas que fomenten EECN a partir de soluciones tradicionales, en lugar de soluciones tecnológicas como soluciones fotovoltaicas o recuperadores de calor para controlar la ventilación, etc.

Existen estudios [9,10] que muestran un precario conocimiento de los ingenieros y arquitectos capaces de desarrollar proyectos que alcancen EECN, así como las constructoras, aparejadores e instaladores que sean conocedores de las particularidades relacionadas con los estándares y nuevas tecnologías de los EECN fijados por otros Estados miembro. En conclusión, en muchos casos en Portugal se incurrirá en mayores costes debido a la integración de medidas adicionales de eficiencia energética y sistemas de energías renovables.

Zona Climática de invierno	I1	I2	I3
Elementos opacos verticales exteriores e interiores	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontales exteriores e interiores	0,50	0,45	0,40
Cerramientos acristalados exteriores	4,30	3,30	3,30
Zona Climática de verano	V1	V2	V3
Factor solar de huecos (sin dispositivos de sombreado)	0,25	0,20	0,15

Tabla I. Coeficientes de transmisión térmica  $U_{ref}$  [W/(m<sup>2</sup>.K)] y factor solar de huecos.

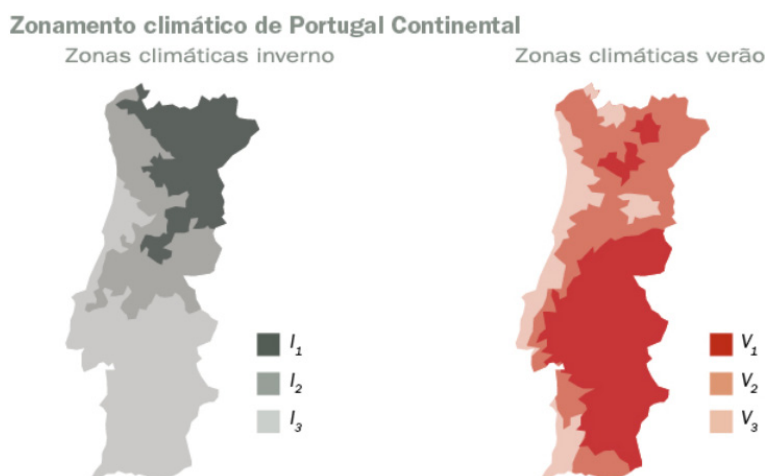


Figura 5. Zonas climáticas de Portugal, a la izquierda se muestran zonas de invierno y a la derecha de verano [11].

La implantación de los certificados de eficiencia energética de edificios en Portugal puede ser una palanca para dar a conocer al público las deficiencias de los edificios existentes e incentivar el mercado de edificios de nueva construcción con alta eficiencia energética. En la Figura 6 se muestra el extracto con información del etiquetado energético.

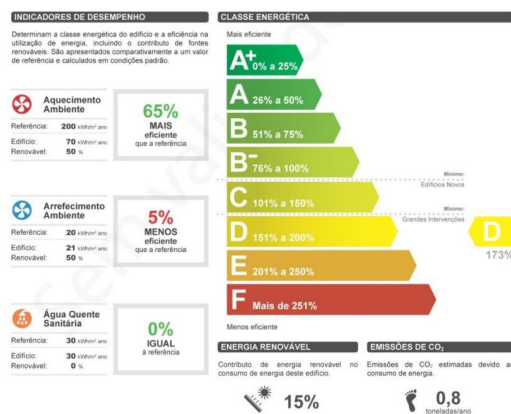


Figura 6. Extracto de la etiqueta de un certificado energético de Portugal.

## Dinamarca: Experiencia ejemplar

Dinamarca es uno de los primeros Estados miembros en definir EECN y fijar un plan de trabajo hacia EECN. Se fijaron mejoras progresivas cada vez más restrictivas a partir de la normativa aprobada en el año 2010 (BR2010) [12], fijando un paso intermedio en 2015 y un objetivo en 2020. Se incluye la demanda de energía para calefacción, ventilación, refrigeración, ACS y equipos auxiliares. Para reducir la demanda se debe aumentar el aislamiento de la envolvente y mejorar los sistemas técnicos del edificio. Los objetivos de consumo de energía primaria máxima que incluye calefacción, refrigeración, ACS, ventilación e iluminación, en el caso de edificios no residenciales se define en la tabla II.

Consumo máximo de energía (en kWh/m <sup>2</sup> . año)	Edificación residencial		Edificación no residencial	
	Nuevo	Existente	Nuevo	Existente
Objetivo 2015	30 + 1000/S		41 + 1000/S	
Objetivo 2020 → EECN	20	20	25	25

S es el área de suelo calefactada

Tabla II. Valores máximos requeridos de consumo de energía primaria en kWh/m<sup>2</sup>año para Dinamarca.

En el año 2014 el gobierno de Dinamarca puso en marcha el programa *BedreBolig* – (mejores casas) para facilitar y simplificar la rehabilitación de los edificios a sus propietarios. Dicho proyecto consiste en orientar y asesorar a los propietarios por expertos, para favorecer la cooperación entre los dueños, entidades asesoras, bancos e entidades crediticias y así facilitar la interacción y fomentar la rehabilitación de edificios EECN.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe una gran disparidad de valores en la definición de EECN, si bien es cierto que algunos países ya disponen de definiciones EECN referidos a un indicador principal de energía primaria máxima.

Ejemplos como Dinamarca, demuestran que se pueden fijar objetivos ambiciosos para alcanzar EECN que van acompañados de un impulso político, estrategia a largo plazo y campañas de sensibilización.

Las principales barreras para implementar EECN en algunos países del sur de Europa son fundamentalmente de índole técnica y social (especialmente en el sector residencial). Las prácticas de diseño y construcción no han evolucionado en los últimos años, ni tampoco se han mejorado sustancialmente las soluciones constructivas, ni mejoras en los proyectos en fases iniciales y de construcción, que implementen medidas bioclimáticas efectivas en verano e invierno para alcanzar EECN. Un ejemplo sería incluir protecciones solares adecuadas para cada orientación, tratamientos de los puentes térmicos que eviten las pérdidas de calor y todas aquellas medidas que lleven al límite las estrategias pasivas del edificio, de esta forma el edificio demandará menor cantidad de energía y a partir de este punto, se tendrán podrán implementar sistemas que empleen energía renovable.

Las metodologías para implementar EECN en países del sur de Europa suelen llevar asociadas reglas empíricas o diseño basado en cálculos, que no siempre se contrasta en obra. Además, las autoridades nacionales y locales no disponen de infraestructura suficiente para que se implemente adecuadamente EECN. En concreto agentes de la administración local que traten con licencias de obra y certificados de eficiencia energética, profesionales que verifiquen el diseño y proceso de construcción y por último control en el mercado a los fabricantes y suministradores de productos.

Actualmente en países del sur de Europa hay arquitectos que optan por certificar edificios cumpliendo los criterios de Passivhaus y se enfrentan a serios desafíos para implementar dichas medidas debido a la falta de personal cualificado en obra. Por tanto, es necesaria una mejora del conocimiento y experiencia de la industria de la construcción empezando por los técnicos, instaladores, constructores y suministradores de productos.

Pocos países han desarrollado medidas y obligaciones específicas relacionadas con el parque de edificios existente para que alcancen los niveles EECN. Países como Francia han desarrollado eco-préstamos a las viviendas para facilitar la rehabilitación y han desarrollado planes informativos y campañas de sensibilización basados en el concepto de ventanilla única para ayudar a los propietarios a tomar decisiones y que se ejecuten rehabilitaciones energéticas. Otro ejemplo es Dinamarca que facilitó la interacción entre los propietarios de los edificios y el resto de agentes que intervienen en la rehabilitación para incentivar la rehabilitación. Por lo tanto, es esencial que técnicos, actores de la construcción y los propietarios sean conscientes de los retos asociados a la renovación de los edificios hacia un EECN y se implementen soluciones adecuadas técnicamente.

## REFERENCIAS

- [1] Décret no 2012-1530 du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments
- [2] Règles techniques applicables aux bâtiments faisant l'objet d'une demande de Label BEPOS-effinergie 2013, 2015.
- [3] FR, Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, Journal Officiel de la République Franc, aise (2010), n°0250 du 27 octobre 2010 page 19260.
- [4] <https://www.cti2000.it/index.php?controller=legislazione&action=legislazione> (septiembre 2017)
- [5] Approaches and indicators used by EU28 and Norway for the nZEB definition (status as of April 2015) – Factsheet  
[http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE\\_factsheet\\_nZEB\\_definitions\\_across\\_Europe.pdf](http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf) (septiembre 2017)
- [6] <http://www.adene.pt/legislacao> (septiembre 2017)
- [7] <http://www.adene.pt/legislacao> Portaria n.º 349-D/2013 requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios.
- [8] J. D. Healy, Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. (Septiembre 2017) <http://jech.bmj.com/content/jech/57/10/784.full.pdf>
- [9] S. Attia, Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. Elsevier. Energy and Building journal.
- [10] S.M. Silva, et al., nZEB Training Needs in the Southern EU Countries – SouthZEB project, Connecting People and Ideas, 2015, pp. 2469–2478 (978-989-96543-8-9).
- [11] [http://www.aipex.es/cte\\_po.php?idioma=po&s=4](http://www.aipex.es/cte_po.php?idioma=po&s=4) (septiembre 2017)
- [12] <http://bygningreglementet.dk/english/0/40> (septiembre 2017)

## DISEÑO DE EECN PARA LAS CONDICIONES PARTICULARES DE CANARIAS

**Eduardo Martín del Toro**, Investigador posdoctoral, Grupo de investigación "Arquitectura y paisaje", Universidad de las Palmas de Gran Canaria

**Resumen:** El archipiélago canario posee unas características muy particulares -por su situación extraperiférica, su condición insular de territorio fragmentado y su clima, muy diferente no sólo al del resto de Europa, sino incluso al de nuestro país- razón que va a influir de forma notable en la implantación de los EECN dentro de sus fronteras. En muchas ocasiones no será posible trasponer soluciones, sistemas constructivos o estrategias de diseño que sí se encuentran validadas para otras latitudes. Por tanto, se pretende reflexionar sobre las principales líneas para el diseño de los EECN en Canarias, analizando sus ventajas e inconvenientes, para llegar a una serie de conclusiones que puedan servir en el futuro de guía a los profesionales del sector.

**Palabras clave:** Arquitectura Tradicional, Estrategias Bioclimáticas, Estándar Passivhaus, Eficiencia Energética, Inercia Térmica, Control Solar, Ventilación

### INTRODUCCIÓN

El origen de los edificios de consumo energético casi nulo (EECN) tuvo lugar, hace ya siete años, con la publicación de la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Posteriormente ha sido traspuesto a la legislación española (de una forma algo caótica) mediante el Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios y posteriormente con la Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía" y el Documento Básico DB-HS "Salubridad", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

Como vemos, las directivas -un instrumento flexible que se emplea principalmente como medio para armonizar las legislaciones nacionales- se originan en Centroeuropa, para posteriormente ser transpuestas por cada uno de los países miembros, teniendo en cuenta las características nacionales específicas a su ordenamiento. Finalmente las Comunidades Autónomas y/o Ayuntamientos tienen potestad para terminar de regular algunos puntos, definiendo y concretando determinados aspectos.

Por tanto, en este camino -y para llegar hasta Canarias- hacemos un viaje de tres mil kilómetros en dirección sur, desde donde se originan estas directivas hasta donde se van a poner en práctica, siendo puntos diametralmente diferentes en cuanto a clima (de latitud 60° N a 30° N), cultura, condiciones económicas, etc.



Figura 1. Posición relativa entre Bruselas, Madrid y Canarias.

### DESCRIPCIÓN

No sólo hay un largo recorrido desde el origen del EECN y el punto de aplicación más meridional, también se produce este mismo fenómeno con una de las soluciones más reconocidas para obtener de forma garante el que un edificio sea de consumo energético casi nulo, el estándar passivhaus.

Esta estrategia de origen alemán se presenta como la herramienta más eficaz para proyectar y construir los EECN, y realmente los resultados obtenidos en el centro y norte de Europa parecen corroborarlo.

Los principios del Passivhaus se basan en cuatro condiciones (Bastian & Arnautu, 2017):

1. Cerramientos altamente aislados.
2. Eliminación de puentes térmicos.
3. Infiltraciones muy reducidas.
4. Ventilación mecánica con recuperadores de calor.

Todo ello para tener unos valores máximos de:

- Demanda máxima de energía útil para calefacción, 15 kWh/m<sup>2</sup>año.
- Demanda máxima de energía útil para refrigeración, 15 kWh/m<sup>2</sup>año.
- Consumo máximo de energía primaria para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) y electricidad, 120kWh/m<sup>2</sup>año.

Pero a medida que realizamos la misma trasposición hacia el sur que en el apartado anterior, empiezan a surgir los problemas. Un estándar diseñado en un clima frío, que pone especial énfasis en el ahorro en consumos energéticos de calefacción tiene que adaptarse a las características de los países del sur de Europa, como Portugal, España, Italia o Grecia y, sobre todo, a las regiones situadas en el sur de los mismos, donde el gasto en calefacción tiene mucho menor peso que el de refrigeración, verdadero consumidor energético de los edificios de la zona.

En este sentido, el Passivhaus Institut ha realizado un gran esfuerzo por dar respuesta a estas regiones desarrollando el estándar passivhaus para climas cálidos (Wassouf, 2012) -países mediterráneos- por medio del proyecto Passive-On, que aún no tiene el reconocimiento y las garantías que ofrece la herramienta original.

El objetivo del Proyecto Passive-On (end-use Efficiency Research Group, s.f.) fue investigar cómo deben ser modificados los principios actuales de diseño para tener en cuenta los mayores niveles de radiación solar en los países del sur de Europa, cuyos efectos son una reducción de las cargas de calefacción en invierno y un aumento de los problemas de refrigeración en verano.

Por su parte, los factores atmosféricos en Canarias se caracterizan por sus microclimas, es decir las significativas variaciones climáticas en puntos poco distantes, pero en general con unas temperaturas medias muy suaves, unas precipitaciones escasas pero torrenciales, unos vientos fuertes y constantes y una importante radiación solar con numerosas horas de sol. Si tenemos en cuenta que la mayor parte de la población canaria se concentra en las costas, donde están las capitales y los principales centros turísticos, podemos decir que nos encontramos ante un clima desértico cálido, único en el ámbito europeo y que diverge del resto de climas que se dan en otros territorios de la UE.

Con lo que las islas poseen una condiciones climáticas particulares alejadas de las zonas mediterráneas, aunque dada la escasa relevancia que, tanto a nivel territorial como poblacional, tiene el archipiélago canario respecto al total de Europa, los legisladores nacionales obvian esta singularidad climática, como se demostró con el fracaso de la asignación de la zona climática A3 en el *Documento Básico HE Ahorro de energía 2006* para las áreas costeras del archipiélago (por debajo de los 800 m), tomada de la localidad peninsular con aquellas características que más se podían asimilar a las condiciones climáticas de Canarias: Cádiz, pero que sin embargo se demostraron en la práctica inviable, dando lugar a unos resultados en el cálculo de la etiqueta energética muy alejados de la realidad, que conllevó a la necesidad de generar una zona climática específica para las costas canarias (hasta los 350 m de altura): el alfa3, en la posterior revisión del código técnico, mediante la *Orden FOM/1635/2013 del 10 de septiembre por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE*.

Pues bien, del mismo modo, parece necesario hacer una revisión en cuanto a las estrategias necesarias para el diseño de los EECN para las condiciones particulares del archipiélago, que nada tienen que ver con cualquier otra región de Europa.

## METODOLOGÍA

Cuando hablamos de arquitectura pasiva se suele cometer un grave error, que es asociar los conceptos de Passivhaus y edificio pasivo, como si fueran sinónimos. Un edificio pasivo es aquel que puede ofrecer un grado de confort



razonable a los usuarios mediante mecanismos únicamente arquitectónicos y no tecnológicos, mientras que el estándar *passivhaus* funciona por medio del empleo constante de equipos activos (al menos renovación de aire) aunque se limita mucho el consumo de estos.

La arquitectura que sí es realmente pasiva es la arquitectura tradicional, ya que llevaban años haciéndolo por pura necesidad: la falta de recursos y medios ha sido la chispa que ha encendido el ingenio de nuestros antepasados y ha propiciado el desarrollo de -posiblemente- la arquitectura más inteligente con la que nos podemos encontrar. Es la manera tradicional de construir la arquitectura, con lo que es un sistema contrastado a lo largo de los años, aprovechándose de las condiciones favorables del clima (sol en invierno, viento en verano, etc.) al tiempo que se protege de aquellos indeseados (sol en verano, viento del norte en invierno, etc.).

En este sentido, las estrategias principales empleada por la arquitectura tradicional canaria son tres (Martín del Toro, 2015): la inercia térmica, el control solar y la ventilación.

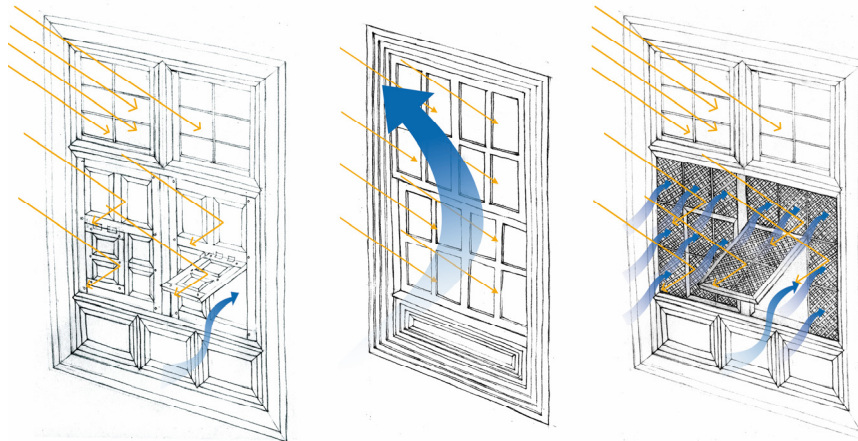
## Inercia térmica

Una alta inercia térmica permite obtener uno de los objetivos más deseables en un edificio: la estabilidad térmica; amortiguando en el tiempo los efectos de los cambios en la temperatura y reduciendo la oscilación de temperaturas en la cara interior respecto a la que actúa sobre la cara exterior de la pared.

Los gruesos muros de piedra que presenta la arquitectura tradicional canaria suponen una elevada inercia térmica. Estas paredes de gran espesor, además de contribuir en la estabilidad de los edificios y en la protección contra el agua, poseen capacidad de aislamiento acústico y contribuyen, en gran medida, al equilibrio de las temperaturas en el interior de los edificios. Un muro tradicional -con una transmitancia térmica del orden de  $0,4 \text{ w/h m } ^\circ\text{C}$ - consigue que la onda térmica que le traspasa tenga un desfase de 20 horas con una amortiguación del 99,5%, lo que supone crear un ambiente interior de lo más confortable posible en la vivienda (Álvarez-Ude, 2004).

## Control solar

La necesidad de evitar la incidencia de la radiación solar directa sobre las superficies exteriores del edificio y, más aún, de su ingreso a través de los vanos del mismo, resultan estrategias imprescindibles en climas cálidos y templados. Conseguir esta protección solar en los períodos calurosos al tiempo que se permiten las ganancias solares en las épocas más frías es el éxito de un correcto diseño bioclimático.



*Figura 2. Estrategia bioclimática de la ventana tradicional canaria. La parte superior permite la entrada de luz profunda en invierno mientras que es escasa en verano. La apertura o cierre de las hojas y postigos permite regular la entrada de aire e iluminación extra.*

La casa canaria orienta su fachada principal y su patio hacia el sur o sureste, no sólo para protegerse de los vientos del alisio, sino también para el correcto aprovechamiento solar, con las máximas ganancias energéticas en invierno y las mínimas en verano.

Los huecos de las casas canarias no presentan elementos de protección solar puesto que el propio espesor de los muros - junto con el inteligente diseño de las carpinterías- lo hace innecesario.

Otros elementos de protección solar son los patios, balcones y galerías. Los primeros permanecen en sombra durante la mayor parte del día, protegiendo su ámbito de la radiación solar directa, manteniendo así más baja la temperatura del aire que la media exterior, efecto que se refuerza con la común presencia de abundante vegetación. Por otro lado, balcones y galerías protegen las fachadas del calentamiento directo de los muros, creando una zona de protección bajo ellos, siendo aprovechada como punto de acceso en las viviendas.

## Ventilación

En condiciones de alta humedad, la comodidad térmica resulta mucho más difícil. En el extremo opuesto, en condiciones de muy baja humedad, también se llega a un punto de molestia, en el que la sequedad del aire reseca las mucosas nasales y dificulta en gran medida la respiración. La solución para ambos extremos -independientemente de si las condiciones de temperatura son altas o bajas-, consiste en producir una adecuada ventilación.

La transpirabilidad de las cubiertas, junto a la holgura de las carpinterías se convierte en una estrategia de renovación en la que se elimina con facilidad el aire caliente y húmedo que se estratifica en las capas más altas de la vivienda. La casa rural juega con la ventilación cruzada a través de grandes huecos, ventanas o puertas, en las zonas de sotavento y pequeños ventanucos o postigo en la de barlovento. La sabia combinación de la apertura o cierre de ambos permite controlar la ventilación para garantizar la renovación y el confort térmico.

La celosía, en ventanas o balcones, permite una ventilación constante al tiempo que impide la excesiva velocidad del aire, ideal en climas húmedos y calurosos, donde la ventilación se presenta como la única solución para eliminar el exceso de humedad y reducir la sensación térmica del interior.

Pero el elemento más importante de la casa canaria de cara su ventilación es el patio, ya que se encarga de recoger y acondicionar el aire antes de introducirlo en la vivienda.

## RESULTADOS

Lo cierto es que las características climáticas y del medio natural en Canarias se acercan en muchas localizaciones y en una buena parte del año a las condiciones de confort, tanto en la vertiente norte como en la sur, a pesar de las diferencias climatológicas entre ambas, por lo que las posibilidades de encontrar soluciones arquitectónicas con sistemas de adecuación sencillos y globalmente económicos son muchas.

Un ejemplo de esto, puede ser el hecho de que con el simple cumplimiento de las exigencias del *CTE DB HE 2006* -que no contempla la utilización de soluciones pasivas de acondicionamiento térmico como ventilaciones cruzadas, sistemas solares pasivos, sistemas de bajo coste de regulación de la humedad siendo este aspecto fundamental en la sensación final de confort, etc.-, las dos capitales Canarias están muy cerca de llegar a los valores de demanda de refrigeración que marca el estándar *passivhaus*, siendo nulas las demandas de calefacción (Martín del Toro, 2014).

El tipo de construcción tradicional de la edificación en las islas buscaba la estabilidad térmica interior incorporando para ello técnicas y materiales aceptados por el uso que, debido a la cultura local adquirida a lo largo de los años, permitían crear el ambiente interior más confortable posible en la vivienda. A ello se unía una forma de habitarla que ayudaba a ese confort. Estas técnicas perdidas pueden ser recuperadas y reinterpretadas para una arquitectura contemporánea de consumo energético casi nulo. En este punto, es fundamental conocer cuáles son las estrategias de diseño con las que podemos contar, descubriendo aquellas que han sido probadas de forma satisfactoria a lo largo de los años, a través de la experimentación cotidiana.

Por medio del correcto empleo de estrategias bioclimáticas es posible que se proyecten y construyan -al menos en las costas de las Islas Canarias- edificios que cumplan con las exigencias reglamentarias establecidas para los EECN por medio del empleo de sistemas de control pasivo y sin necesidad de recurrir a elementos mecánicos de climatización para garantizar el confort térmico de los usuarios (Martín del Toro, 2017), -como se ha comprobado por medio de simulaciones informáticas (Montesdeoca Calderín, 2016)-, con la ventaja de consumos energéticos y mantenimiento que ello supone.

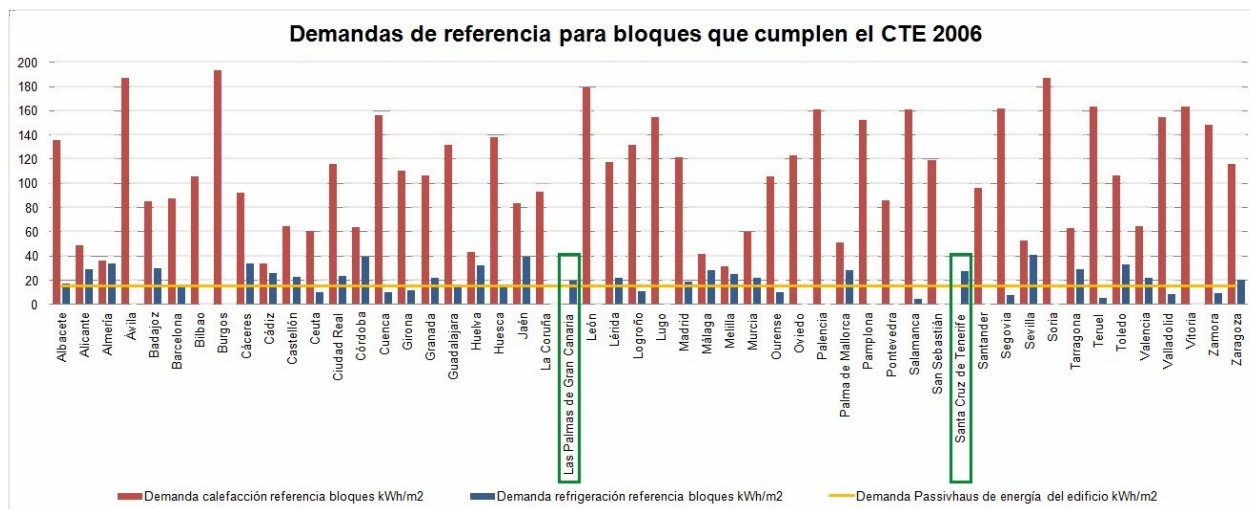


Figura 3. Demandas de edificios para el cumplimiento del CTE 2006. Fuente: Escala de Calificación energética para Edificios de nueva Planta. IDAE.

La arquitectura vernácula es la adaptación de la arquitectura al entorno, por lo que funciona de manera armónica con el clima de la zona, al modo de una arquitectura abierta, mientras que el estándar passivhaus basa su funcionamiento en crear unas condiciones ideales interiores a partir de un espacio aislado, estanco y cerrado, del cual haya sido excluida la influencia del medio físico externo, en lo que se conoce como arquitectura cerrada, por lo que se pierde la relación con el entorno inmediato, algo muy apreciado en un entorno como el canario.

Por otro lado, el precio de una vivienda realizada bajo el estándar passivhaus viene a costar entre un 5 o 25% más (López de Rego, 2016) que una bioclimática, que no supone aumento de coste, aunque sí supone un mayor esfuerzo de desarrollo de proyecto y no siempre es fácil encontrar profesionales que nos garanticen un resultado satisfactorio.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Mientras que Passivhaus se presenta como un sistema totalmente estandarizado y homologado, para poder garantizar los resultados (algo controvertido en climas como el de Canarias) necesita de una arquitectura basada en envolvente sobre-aislada y el empleo de equipos, junto a unos altos valores de estanqueidad (si abrimos una ventana el sistema pierde su sentido) que independice totalmente el ambiente interior del exterior, con lo que terminamos viviendo en un "submarino".

Por contra, frente a esta arquitectura sistemática, la bioclimática diseña un "traje a medida" donde el esfuerzo no se encuentra en aislarnos del exterior creando un microclima interior, sino ser parte del entorno e interactuar con él, donde los usuarios reaccionan cambiando su ropa, la actividad, la postura, etc., o cambiando su entorno mediante el uso de dispositivo de protección solar móvil, apertura y cierre de los huecos, para la adecuada regulación del paso u obstrucción de los distintos agentes climáticos por medio de elementos como portones, cristales, fraileros, cortinas, etc.

Por tanto, podemos decir que en el estándar Passivhaus el esfuerzo se pone en el edificio -más aislamiento, más estanqueidad, más equipos, etc. y por tanto más dinero- mientras que en la bioclimática el esfuerzo se pone en el trabajo del proyectista, razón por la cual su correcta elección va a ser la garantía o no de un adecuado resultado final.

El estándar Passivhaus es una gran solución para una gran mayoría de los casos, pero no para todos. Es evidente que no hay solución perfecta, ni universal y luchar contra este principio nos puede llevar a cometer errores. No tiene sentido su aplicación en un clima donde el confort térmico a lo largo del año se consigue con una hamaca y una sombrilla, y -todo lo más- con un ventilador. Lo fundamental sería estudiar las estrategias bioclimáticas de la arquitectura tradicional canaria y aplicarla a la arquitectura contemporánea. Muchas de las estrategias bioclimáticas que presenta la arquitectura tradicional canaria están vigentes hoy día. Hace falta detenerse un momento en un

proceso de reflexión y recuperar el conocimiento olvidado para hermanarlo con las últimas tecnologías, tanto constructivas como energéticas, de sistemas de climatización ó TICs.

La Arquitectura que viene es la que sabe combinar inteligentemente la arquitectura que se relaciona con su entorno más inmediato -del mismo modo que lo hace la tradicional- con los últimos avances en materiales, sistemas constructivos, energías renovables y tecnología inteligente (domótica, inmótica, smart cities, etc.). Es decir, es una arquitectura bioclimática, sana, inteligente, económica, eficiente, respetuosa con el medio, etc. y por tanto SOSTENIBLE.

## REFERENCIAS

- Álvarez-Ude, L., 2004, Análisis de los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental, Caja Insular de Ahorros de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria.
- Bastian, Z. & Arnautu, D., 2017, Building Certification Guide, Passive House Institute, Darmstadt.
- Martín del Toro, E., 2015 , Estrategias bioclimáticas en la arquitectura tradicional canaria, (Tesis doctoral). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- Montesdeoca Calderín, M., 2016, Estrategias para el diseño bioclimático de edificios nZEB en climas desérticos cálidos aplicando el modelo de confort adaptativo: el caso particular de las costas de las Islas Canarias, (Tesis doctoral). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- Martín del Toro, E., 2014, ¿Passivhaus en Canarias?, Sustentable & Sostenible [online] <http://blog.deltoroantunez.com/2014/03/passivhaus-en-canarias.html> (6 marzo 2014)
- Martín del Toro, E., 2017, La implantación de los nZEB en Canarias, Sustentable & Sostenible [online] <http://blog.deltoroantunez.com/2017/06/la-implantacion-de-los-nzeb-en-canarias.html> (5 junio 2017)
- López de Rego, A., 2016, Cuánto más cuesta construir “pasivo”, CTE ARQUITECTURA [online] <http://www.ctearquitectura.es/arquitectos/passivhaus-y-ecnc/cuanto-mas-cuesta-construir-pasivo> (8 agosto 2017)
- end-use Efficiency Research Group, s.f., El proyecto Passive-On [online] <http://www.eerg.it/passive-on.org/es> (20 septiembre 2017)
- Wassouf, M., 2012, Edificios passivhaus construidos en climas cálidos, Semana de la energía sostenible de Vitoria-Gasteiz [online] <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/57/07/45707.pdf> (12 julio 2017)

# DE LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO A LOS EDIFICIOS CONFORTABLES: PRIMERA VIVIENDA INDUSTRIALIZADA CON CERTIFICADO PASSIVHAUS Y UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SEGÚN ISO 14025

**Santiago Muelas**, Director General, American Building System (ABS)

**Álvaro Martínez**, Técnico Designer, American Building System (ABS)

**Nicolás Bermejo Presa**, Responsable de Concept Sales e Innovación, SAINT-GOBAIN y Adjunto Dirección de Marketing SAINT-GOBAIN ISOVER

**Resumen:** En esta comunicación, presentamos la estrategia y trabajos realizados para alcanzar el objetivo de conseguir una vivienda mejor: confortable, con consumo de energía casi nulo, respetuosa con el medio ambiente y con coste moderado mediante el uso de madera y sistema industrializado para disminuir el coste y la energía embebida, certificación Passivhaus o de consumo casi nulo, para disminuir la energía de uso y Análisis de Ciclo de Vida para identificar el impacto de la casa desde la cuna a la tumba.

**Palabras clave:** Certificación Energética de Edificios, Eficiencia Energética, Código Técnico de la Edificación, Passivhaus, Construcción Industrializada, Casas Pasivas, LCA, ACV, Análisis de Ciclo de Vida, Sostenibilidad

## INTRODUCCIÓN

Los avances técnicos han mejorado nuestra vida, pero también han mostrado el frágil equilibrio del medio ambiente. Por esta razón y teniendo en cuenta la Legislación y la ética, debemos reconsiderar la manera de diseñar y construir. Nuestra propuesta se basa en:

1. **Industrialización**, que recoge los avances técnicos y los convierte en ahorro de energía y de costes.
2. **Análisis** para conocer y atenuar el impacto ambiental en todas las etapas de su vida útil.
3. Aplicación de los requerimientos de la **Certificación Passivhaus**, reconociéndolos como la mejor aportación del siglo XX a la mejora de la construcción.
4. **Procesos administrativos** para agilizar los trámites y disminuir el coste de sus intervenciones.
5. **Unión de empresas y técnicos** con responsabilidad social. Este proyecto recopila los conocimientos y materiales de diez empresas empeñadas en este fin (1).

Presentamos el resultado de los trabajos de estas empresas para el diseño y construcción de la primera vivienda industrializada que cuenta con una declaración ambiental verificada y una certificación del Passivhaus Institute.

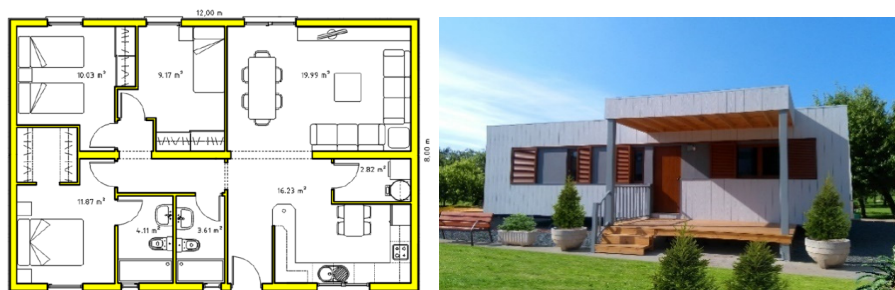


Figura 1. Proceso descriptivo construcción-Plano e imagen de la vivienda.

## INDUSTRIALIZACIÓN

La construcción industrializada mecaniza el diseño y la producción con tecnología avanzada. Sus componentes se integran en un proceso que mejora la calidad a la vez que acelera y abarata el conjunto. Profundiza en la personalización, necesaria para cualquier vivienda, sin la repetición de errores propia de proyectos de una sola unidad.

Para dar forma física a esta iniciativa hemos construido una vivienda industrializada, de 96m<sup>2</sup>, con un porche 10 m<sup>2</sup>. Se compone de dos módulos espaciales y transportables. Por lo tanto, hemos podido aplicar el sistema industrial para su construcción y podríamos reubicarla en el futuro. Tiene tres dormitorios, un vestidor, dos baños, un salón comedor, cocina y el cuarto de instalaciones.

La climatización consta de aerogeotermia para la entrada de aire exterior, un recuperador de calor y aerotermia para el ACS y las puntas de demanda de calor o frío.

## ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

Participamos de la fiebre que persigue que todo lo producido, utilizado y mantenido, sea lo más respetuoso con el medio ambiente. En el sector de la edificación reconocemos nuestra responsabilidad e influencia en el calentamiento global. Por eso aplicamos sistemas que se transformen en hechos concretos.

Lo primero que cambiamos es la manera de diseñar los edificios. Para tener evidencias científicas realizamos un modelo de Análisis de Ciclo de Vida sobre la vivienda y plasmamos los resultados en una declaración ambiental verificada según uno de los programas más reconocidos a nivel mundial: The International EPD® System, basada en la PCR 2013:01 Prefabricated buildings v. 1.1.

El modelo de ACV, el registro de datos y el impacto medioambiental se han calculado utilizando el software de ACV Simapro 8. Se ha utilizado el modelo de impacto CML-IA baseline v 4.1, junto con la base de datos de ACV Ecoinvent 3.3 y EPDs® de productos del grupo Saint Gobain para la obtención de los datos de inventario de los procesos. El modelo de Impacto EDIP 2003 ha sido utilizado para el cálculo de los indicadores de residuo. El inventario de las materias primas utilizadas ha sido tomado directamente de la vivienda analizada.

El ACV es una relación de todos los impactos positivos y negativos. Estos se miden en cada etapa de la vida “de la cuna a la tumba”: extracción de las materias primas, etapa de construcción industrializada, su uso hasta el final, con indicadores ligados a los desperdicios, las emisiones y el consumo de recursos.



Figura 2. Proceso esquemático del ACV.

De los resultados, se observa que, debido a la baja necesidad energética en su etapa de uso, los materiales tienen una contribución fundamental. La Etapa de producto (A1-A3) es la etapa con un mayor impacto. Representa como mínimo el 69% del impacto total para las siguientes categorías de impacto: Cambio climático, Agotamiento de recursos abióticos y Consumo de energía.

El consumo de agua se produce en la Etapa de uso y representa el 87% del consumo total. La producción de residuos se reparte entre la Etapa de Fin de Vida (44% de la producción total de residuos) y la Etapa de Producto A1-A3 (40% de la producción total de residuos). Debido al potencial de reutilización, en el módulo D se consigue un gran ahorro en

el impacto. Como ejemplo, el ahorro conseguido en el módulo D sobre el Calentamiento global equivale al 55% del impacto total del ciclo de vida y al 73% sobre el consumo de energía.

El modelo de ACV, el registro de datos y el impacto medioambiental se han calculado utilizando el software de ACV Simapro 8. Se ha utilizado el modelo de impacto CML-IA baseline v 4.1, junto con la base de datos de ACV Ecoinvent 3.3 y EPDs® de productos del grupo Saint Gobain para la obtención de los datos de inventario de los procesos. El modelo de Impacto EDIP 2003 ha sido utilizado para el cálculo de los indicadores de residuo. El inventario de las materias primas utilizadas ha sido tomado directamente de la vivienda analizada.

## REQUERIMIENTOS PASSIVHAUS

El confort en una vivienda es una sensación muy compleja de determinar y de definir. Tiene múltiples aspectos y todos están relacionados: el confort térmico, el acústico, el visual, o la calidad del aire. Si pasamos cerca del 90% del tiempo en el interior, estos aspectos adquieren mayor importancia.

La influencia de la arquitectura en una vivienda industrializada sobre el confort final es directa y en este proyecto se deben recoger estos parámetros:

- Ubicación, suponiendo que el proyectista tenga libertad de elección.
- Orientación teniendo en cuenta: el acceso, el recorrido del sol para que entre en los dormitorios en algún momento del día, el viento dominante y la mejor panorámica.
- Diseño, basado en un buen conocimiento del usuario para atender sus necesidades, pero también al descanso visual de un ángulo suavizado, o una viga bien apoyada.
- El coeficiente de forma, evitando salientes innecesarios, que, con frecuencia ocultan una incapacidad para diseñar con formas sencillas.
- La superficie envolvente del edificio es la superficie de intercambio de temperatura. Por lo tanto, a mayor superficie, mayor dependencia de la temperatura exterior y consumo.
- La separación clara de las zonas de día y de noche y la amplia comunicación entre cocina y comedor.
- Si hay vegetación perenne es mejor que la casa mire a esta su cara norte; si es caduca, la cara sur.

La vivienda, certificada por el Passivhaus Institute, cumple con los requerimientos de dicho estándar: demanda para climatización inferior a 15 Kwh/m<sup>2</sup>/a, una demanda global de energía primaria inferior a 120 Kwh/m<sup>2</sup>/a y un valor de hermeticidad n50 inferior a 0.6 renovaciones hora.

La vivienda está monitorizada y ha sido diseñada desde el principio pensando en el confort del usuario final, con especial consideración en los siguientes aspectos:

### Aislamiento térmico y acústico

Vivir cómodamente, sin sacrificios innecesarios y respetando el medioambiente posible. Esta vivienda lo demuestra partiendo del diseño y materiales adecuados.

La envolvente está eficazmente aislada con lanas minerales que cumplen cuatro funciones: aislamiento térmico, acústico, protección contra incendios y durabilidad (contra xilófagos). En la siguiente tabla, se detallan las soluciones técnicas adoptadas en la envolvente de la vivienda:

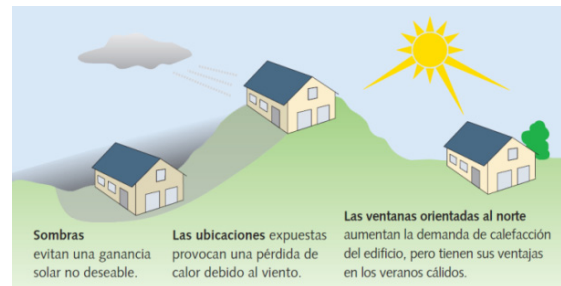


Figura 3. Influencia de la ubicación.



Figura 4. Logo Passive House.

Cerramiento	Descripción	U (w/m²K)
Fachadas parte opaca	Las fachadas de (exterior a interior) cuentan con un sistema SATE constituido por paneles de lana mineral de 140 mm de espesor sobre un tablero OSB. Interiormente trasdosadas con un sistema de placa de yeso y 90 mm de lana mineral como aislamiento térmico y acústico.	0.146
Acristalamiento	Triple vidrio 4/16/4/16/4be argón (Uf= 1w/m²K y g=0.5)	0.77
Cubierta	Formada por una estructura con cerchas de madera, tablero como soporte de la impermeabilización y aislamiento térmico y acústico de 360 mm de lana mineral.	0.142
Suelo	El suelo está compuesto por un tablero Superpan como soporte del solado y 145 mm de lana mineral como aislamiento térmico y acústico.	0.314

Tabla I. Descripción de la Envolvente.

Es decir: gran aislamiento térmico, compacidad estructural, libre de puentes térmicos, ventanas con triple acristalamiento, con cámaras que pueden contener argón o kriptón y con marcos con rotura de puente térmico. Objetivos: un valor de la U de 1.0 a 1.5 W/(m² K), incluyendo el marco y un factor solar de 0.6 para el acristalamiento. Dependiendo de la orientación, deberemos balancear entre el factor solar y los vidrios bajo emisivos.

## Puentes térmicos

Puentes térmicos son las zonas de la envolvente en las que se evidencia una variación de la uniformidad.

Incrementan el consumo energético, reducen el confort y pueden producir condensaciones potencialmente dañinas. Es necesario por lo tanto, eliminarlos o minimizarlos. Tras el cálculo y simulación, los valores de los encuentros más significativos de nuestro proyecto fueron las uniones:

Fachada-Cubierta	Fachada-Suelo	Módulos cubierta	Ventana Inferior	Ventana superior y lateral
0.069 W/mK	0.077 W/mK	0.022 W/mK	0.058 W/mK	0.039 W/mK

Tabla II. Resultados de puentes térmicos uniones.

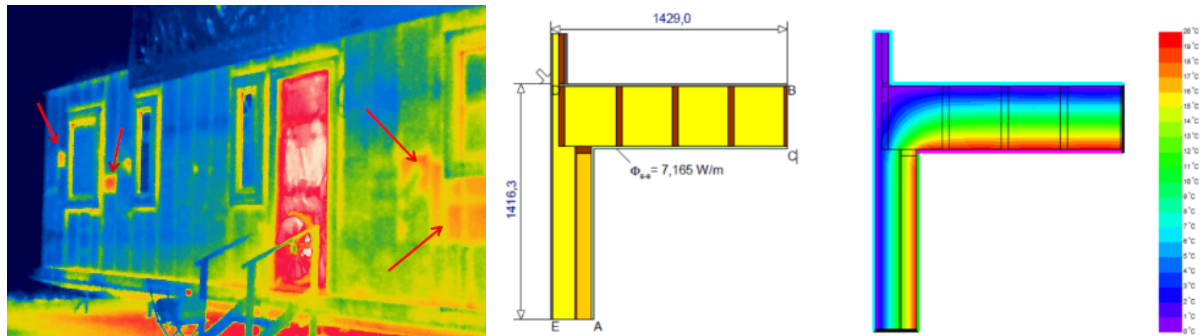


Figura 5. Valores de puente térmico mediante el software Flixo Pro Unión fachada-Cubierta y termografía.

Una práctica que permite hacer “visible” lo “invisible” es la termografía, mediante la cual podemos detectar fácilmente la existencia de puentes térmicos o defectos constructivos:

## Ventilación y Estanqueidad

La calidad y la temperatura del aire interior son el objetivo para el confort de sus ocupantes. Para conseguir una buena calidad del aire y una alta eficiencia energética se requiere un sistema de ventilación regulado y combinado con la recuperación del calor del aire extraído. Y esto solo es posible si la envolvente del edificio es estanca.





Figura 6. Detalle de instalación membrana de estanqueidad al aire.

La vivienda, tiene membranas, bandas y sellantes Vario que garantizan la estanquidad al aire, comprobada con el ensayo Blower door, inferior a 0.6 renovaciones por hora con una presión de 50 Pa.

La vivienda cuenta con un sistema de ventilación de doble flujo cuyas ventajas son:

- Flujo de aire limpio constante hacia el interior, con un detector de CO<sub>2</sub> que aumenta la ventilación cuando hay una concentración de CO<sub>2</sub> mayor de 1.000 ppm.
- Evita el riesgo de condensaciones.
- No mezcla el aire limpio y el sucio.
- Recuperación de calor que reduce de forma considerable el consumo energético del edificio.
- Altos requisitos de confort, por ejemplo, velocidad máxima del aire en los espacios de 0,1 m/s y distribución uniforme de la temperatura en todos los espacios de la vivienda.

### Aerogeotermia

Aerogeotermia podríamos definirla como geotermia superficial de bajo coste. Los años de este siglo han batido records. El máximo sobrecalentamiento permitido por el estándar Passivhaus es del 10%, lo que significa que la vivienda no puede superar los 25°C durante más de un 10% de las horas. Es un valor exigente.

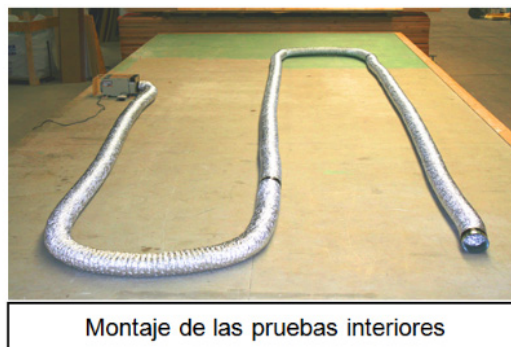


Figura 7. Pruebas de conductividad para el cálculo de la Aerogeotermia.

Con la ventilación a través del recuperador de calor se obtiene un porcentaje de sobrecalentamiento superior al 10%. Si aprovechamos la obriedad de que la casa se sombrea a sí misma y que debajo de ella siempre hay casi la misma temperatura, resulta un gran ahorro energético, pues la temperatura de entrada al recuperador no será la del aire exterior sino la de la geotermia superficial.

## PROCESOS ADMINISTRATIVOS

Existiendo la intención de dar sentido al artículo 47 de la Constitución que dice: Los poderes públicos promoverán las condiciones necesarias y establecerán las normas pertinentes para hacer efectivo el derecho a una vivienda digna. etc. debemos recordar dos hechos:

### Coste de la licencia municipal

Según el Tribunal Supremo, cuando se instala una vivienda con módulos construidos fuera del municipio, la base imponible para calcular la licencia debe aplicarse al coste de su instalación y no al coste de lo instalado. 1) Sentencia del TS del 3 de abril de 1996: "El objeto del ICIO no está constituido por el valor de lo instalado sino por el coste de su instalación". Ratificada por las sentencias siguientes del mismo T.S., de fechas 18/06/1.997, 24/5/1.999, 15/4/2000, 7/10/2.000 y 15/2/2.010.

### Esfuerzo en la compra de una vivienda

Por encima de los 5,1 años del salario bruto necesario para comprar una casa, su adquisición se considera SEVERAMENTE INACCESIBLE. Este grafico del Banco de España muestra que se necesitan 7 años de salario bruto para pagar una casa. Si no se toman medidas, la aplicación del CTE, reformado según la Directiva Europea nº 31, encarecerá la compra y ampliará aún más estos siete años.

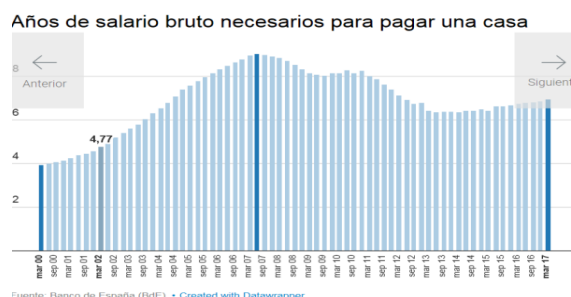


Figura 8. Años de salario bruto para pagar una casa.

## CONCLUSIONES

La ambiciosa apuesta europea en favor de los ECCN tendrá efectos muy beneficiosos, pero debemos recordar que estamos diseñando el lugar de los sueños de sus ocupantes y que los edificios deben ser primero económicamente viables, tanto en la compra como en su mantenimiento, segundo, garantizar su confort, y tercero, como aportación al conjunto social, reducir el impacto ambiental de su vivienda. Esta experiencia ha tratado de demostrar que es posible bajar el coste de la vivienda, cumpliendo el nuevo CTE, mejorando el confort y ahorrando energía drásticamente.

## REFERENCIAS

- (1) Las diez empresas son: Isover, ABS, Vand Arquitectura, Deceunink, Parsan, Roto Frank, Euronit, Zehnder, Saint Gobain Glass, Iso Chemie.
- Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios. Ministerio de Fomento. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- ISO 14040:2006: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework.
- ISO 14044:2006: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines. ISO
- PCR 2013:01 Prefabricated buildings v. 1.1.
- UNE-EN 15804:2012+A1:2013 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
- General Programme Instructions for the International EPD® System
- EeBGuide. Guidance Document – Part B: Buildings – Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative. European Commission.
- WRAP, Net Waste Tool. Guide to Reference Data
- National Association of Home Builders, Bank of America Home Equity 2007, Study of Life Expectancy of Home Components.

# HERRAMIENTAS AVANZADAS PARA EL DISEÑO DE EECN, VERIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL CTE Y LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS CON ENERGY PLUS

**Miguel Ángel Pascual Buisan**, Socio Director, EFINOVATIC

**Nicolás Bermejo Presa**, Responsable Concept Sales e Innovación, SAINT-GOBAIN y Adjunto Dirección Marketing, SAINT-GOBAIN ISOVER

**Resumen:** Estamos inmersos en un momento normativo apasionante, el cual supondrá una excelente oportunidad para para el establecimiento de un sistema de indicadores robusto basado en la norma ISO 52000-1 a través de los cuales se establezcan criterios objetivos para evaluar el nivel de eficiencia energética del edificio. Este momento requiere disponer de herramientas computacionales que permitan diseñar en la fase del proyecto estos edificios con garantías reconocidas. En la presente comunicación, se mostrarán ejemplos de cómo se puede realizar el diseño de EECN, la verificación de los requisitos del código técnico de la edificación y la calificación energética de los edificios a través de una nueva aplicación de libre uso denominada SGSAVE, una aplicación que se integra dentro de SketchUp y permite, con EnergyPlus y a través de OpenStudio, la introducción de la geometría del edificio y la modelización energética del mismo.

**Palabras clave:** Certificación Energética de Edificios, Eficiencia Energética, Código Técnico de la Edificación, EnergyPlus, Openstudio, SketchUp, norma 52000-1

## INTRODUCCIÓN

La ambiciosa apuesta europea en favor de los Edificios de Energía Casi Nula (EECN) tendrá efectos prácticos inmediatos en todo el colectivo de proyectistas, que deberá de disponer de herramientas computacionales avanzadas que permitan el diseño de este tipo de edificios a nivel de proyecto.

Estamos inmersos en un momento normativo apasionante, el cual supondrá una excelente oportunidad para para el establecimiento de un sistema de indicadores robusto basado en la **norma ISO 52000-1** a través de los cuales se establezcan criterios objetivos para evaluar el nivel de eficiencia energética del edificio.

Además de atender mejor los objetivos marcados por la Directiva Europea de Eficiencia Energética (DEEE), la actualización del Documento Básico del Código Técnico de la Edificación (CTE) logrará una normativa más fácil de comprender y aplicar y una mayor vinculación con los procedimientos de Certificación energética de los edificios.

Las mayores exigencias que requieren los EECN van a necesitar un mayor rigor y precisión en el análisis de su comportamiento térmico para optimizar las características de su envolvente y de sus sistemas.

Por todo ello, se hace más necesario que nunca, disponer de herramientas computacionales de libre uso:

- de modelización energética basadas en motores de cálculo internacionales de reconocido prestigio como por ejemplo **EnergyPlus** (Departamento de Energía de los Estados Unidos de América) que permitan adecuarse con garantías de toda la comunidad científica al nuevo concepto dinámico y evolutivo de los EECN.
- de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones que permitan reflejar todas las características reales del edificio, fácil de manejar y reconocida a nivel mundial como por ejemplo **SketchUp**.
- Adecuadas a la normativa española y que además de diseñar a nivel de proyecto permitan la evaluación dual del grado de cumplimiento con respecto a los requisitos derivados del nuevo CTE y la Certificación Energética de los Edificios (CEE).

En la presente comunicación, se muestra una herramienta de elevadas prestaciones para el diseño de edificios de consumo de energía casi nulo, ya que una vez dibujado el edificio en SketchUp e integrados todos los detalles del mismo, se pueden realizar cálculos de una forma muy precisa a través del potente motor de cálculo que integra (EnergyPlus).

Este nuevo software incorpora todas las condiciones de cálculo establecidas en la normativa Española: archivos meteorológicos, perfiles de uso, edificio de referencia...en definitiva, todo lo necesario para que se pueda disfrutar diseñando el edificio y dejar a continuación que SGSAVE se encargue de todo lo demás.

## MOTORES DE CÁLCULO PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

En lo que se refiere al desarrollo de software específico para la simulación energética, ha sido Estados Unidos quien a través de su Departamento de Energía, más esfuerzo ha realizado en los últimos años a nivel mundial para el desarrollo de potentes motores de cálculo. Programas como el DOE2 o BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) fueron desarrollados y utilizados en todo el mundo para la realización de simulaciones energéticas. En el año 2001 bajo la financiación del departamento de la Energía del Gobierno de los Estados Unidos, el prestigioso laboratorio de la Universidad de California Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab) desarrolló un nuevo motor de cálculo que combina lo mejor de DOE2 o BLAST, y que se ha convertido en el referente mundial, llamado **ENERGYPLUS**.

Muchos organismos públicos e instituciones privadas, han desarrollado programas de simulación energética con motores propios o basados en algunos de los existentes. Además, existen softwares específicos que, basándose en algunos de los anteriores motores de cálculo, permiten generar un modelo, para un determinado motor de cálculo, definir las condiciones de contorno, etc., a través de un interfaz de diseño gráfico en tres dimensiones (3D) como los siguientes:






Nombre	Comentarios
 <p>OpenStudio/ SketchUp</p>	Permite la creación y edición de la geometría de los edificios a través de SketchUp. Se trata de una herramienta completamente libre de uso y que permite “conectar” los modelos realizados en SketchUp con el motor de Cálculo EnergyPlus.
 <p>CYPETHERM</p>	Se trata del software español más potente que existe en la actualidad, completamente adaptado a la legislación de referencia. Permite realizar la verificación de los requisitos del CTE así como la obtención de la calificación energética del edificio.
 <p>DesignBuilder</p>	Desarrollado por DesignBuilder Software Ltd, se trata de un software intuitivo que basa sus cálculos en el motor EnergyPlus.
 <p>HULC</p>	Herramienta Unificada Lider-Calener ofrecida por el Ministerio de Fomento y el IDAE y permite realizar la verificación de los requisitos del Código técnico de la edificación así como la obtención de la calificación energética del edificio. Ha sido realizada por el Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía, AICIA, con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, IETCC.
	Permite realizar la evaluación del cumplimiento de los requisitos del CTE con EnergyPlus a través de OpenStudio/SketchUp.

Tabla I. Programas de modelización energética.

## INTRODUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA Y DE LOS MATERIALES

Cada uno de los programas anteriormente mencionados, y en general, cualquier programa de simulación computacional, debe de disponer de una interface adecuada que permita introducir la geometría del edificio de la forma más sencilla posible y reflejando la realidad al mismo tiempo. SG SAVE, utiliza como interface para introducir la geometría del edificio SketchUp el cual es un programa informático de diseño y modelaje en 3D para entornos arquitectónicos, ingeniería civil, diseño industrial, etc. inicialmente desarrollado y publicado por Google. Esta herramienta permite conceptualizar rápidamente volúmenes y formas arquitectónicas de un espacio. Además, los edificios creados pueden ser geo referenciados y colocados sobre las imágenes de Google Earth y sus principales virtudes son la rapidez y facilidad de uso.

Vamos a tratar el siguiente ejemplo, como una vivienda individual que dispone de cuatro plantas:

La planta sótano de la vivienda que se encuentra en contacto con el terreno, tiene una superficie repartida de la siguiente manera:

GARAJE	53,27m <sup>2</sup>
ESCALERA	4,18m <sup>2</sup>

La planta baja, dispone de salón, cocina, un ropero, un baño y jardín:

PORCHE	4,32m <sup>2</sup>	COCINA	9,81m <sup>2</sup>
VESTIBULO	5,28m <sup>2</sup>	ESCALERA	4,40m <sup>2</sup>
ASEO	1,65m <sup>2</sup>	SALON-COMEDOR	20,09m <sup>2</sup>
ROPERO	1,24m <sup>2</sup>	PORCHE-TRASERO	7,14m <sup>2</sup>

En la planta primera se disponen los dormitorios:

DORMITORIO-1	15,31m <sup>2</sup>	ESCALERA	4,40m <sup>2</sup>
BAÑO-1	4,67m <sup>2</sup>	PASILLO	2,85m <sup>2</sup>
DORMITORIO-2	10,30m <sup>2</sup>	BAÑO-2	4,51m <sup>2</sup>
DORMITORIO-3	9,05m <sup>2</sup>		

La planta superior es la buhardilla con una superficie total de 42m<sup>2</sup>.

El modelado 3D del edificio es un proceso relativamente sencillo en SketchUp y cuyos resultados se muestran a continuación:

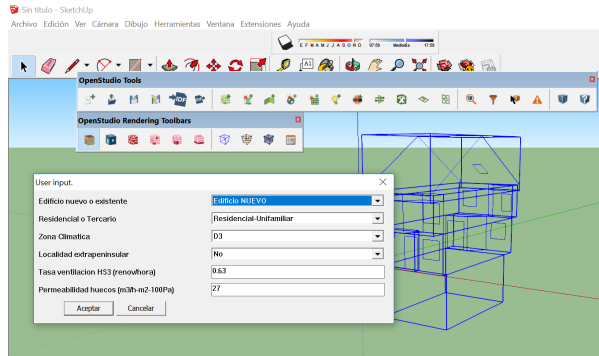
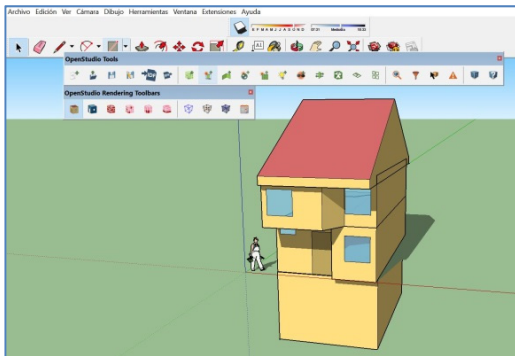


Figura 1. Introducción de la geometría en SketchUp.

## MODELIZACIÓN ENERGÉTICA: NORMATIVA Y METODOLOGÍA

Como hemos mencionado en apartados anteriores, EnergyPlus a fecha actual, es uno de los motores de cálculo más potente que existe con un mayor reconocimiento de toda la comunidad internacional que trabaja muy bien en régimen dinámico y multizona. Uno de los principales problemas de EnergyPlus, al igual que muchos motores de simulación energética es la forma de introducir los datos, que es muy compleja y muy poco intuitiva ya que no permite “dibujar”

el edificio y tanto la geometría como el resto de datos, es necesario introducirlos de forma “manual”. El resultado es un fichero de entrada que tiene un formato propio llamado IDF y codificado como texto. Por esta razón, el departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos, desarrolló OpenStudio que permitía la introducción de los datos del edificio y de los sistemas de una forma más sencilla. Sin embargo, ambas herramientas tenían el problema de que no disponían de una interface que permitirá introducir un modelo en 3D, es decir que nos permitiera “dibujar” y definir el edificio en 3D y realizar los cálculos de forma directa. Por esta razón, se creó un plugin de OpenStudio que integrándose en SketchUP (un modelador 3D de Google) permite la completa modelación del edificio en 3D de forma directa. Todas estas herramientas, además son gratuitas y una vez tenemos instalado el anterior plugin y modelado el edificio, la simulación es automática a través de SGSAVE. Lo único necesario una vez instalado SketchUP es instalar SGSAVE ya que este complemento, contiene tanto Openstudio como EnergyPlus y lo más importante: todas las condiciones legislativas necesarias para realizar la simulación. La relación es por lo tanto la siguiente:





			
<p>SGSAVE contiene las herramientas necesarias para realizar la simulación con todos los condicionantes legislativos marcados por el CTE.</p>	<p>SketchUP permite dibujar y diseñar el edificio en 3D de una forma rápida, sencilla y con todo nivel de detalle.</p>	<p>Openstudio completa la geometría introducida desde el Sketchup, con las instalaciones y otros datos que son necesarios para la evaluación energética.</p>	<p>EnergyPlus es el motor de cálculo que realiza la simulación energética.</p>

Tabla II. Componentes para la simulación.

SGSAVE incluye todas las condiciones de contorno necesarias para realizar la simulación y cumple con lo establecido definidos en el apartado 5 del CTE, así como lo especificado en el documento reconocido sobre Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios.

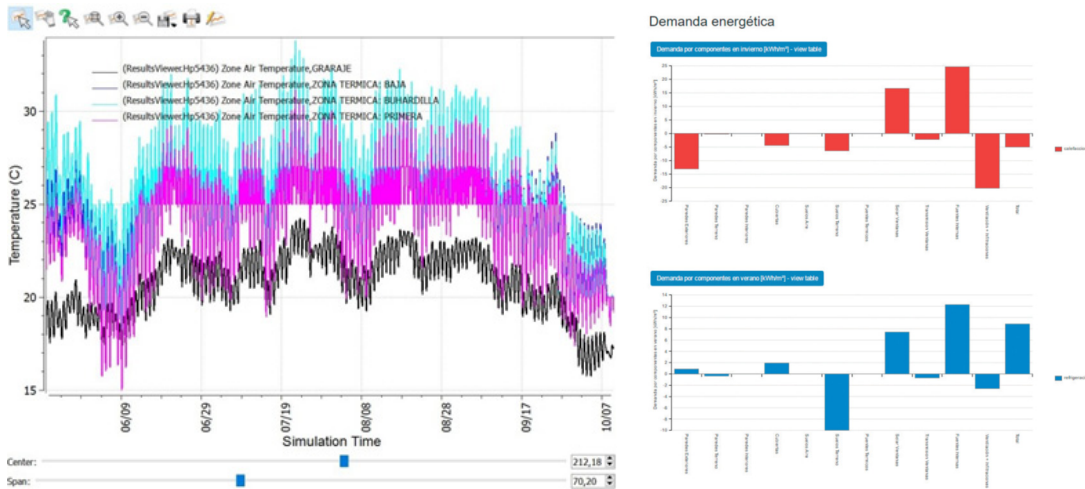


Figura 2. Evolución de temperaturas hora a hora informe de Energyplus para cada zona climática y desglose de la demanda por componentes.

## INFORMES DE RESULTADOS

Cualquier programa de simulación, debe de aportar una serie de resultados claros que permitan la toma de decisiones a nivel de proyecto. Una vez introducida la geometría del edificio, las características técnicas de los cerramientos y las condiciones de contorno y operacionales, el siguiente paso es realizar la simulación energética y plasmar los resultados en una serie de informes que cumplan con lo requerido por la legislación si queremos utilizar los resultados de dicha modelización para la verificación de requisitos legales.

Desde la publicación de la modificación del CTE - HE en el año 2013 para la verificación del cumplimiento de los requisitos normativos establecidos en los documentos del CTE DB-HE, se puede utilizar cualquier método, siempre y cuando se respeten las condiciones indicadas en los documentos oficiales (ver el *documento condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios del Ministerio de Industria, Energía y Turismo*). En este contexto, la utilización del EnergyPlus resulta especialmente atractiva, no sólo porque nos permite dar cumplimiento al trámite administrativo, sino porque además, nos permite un avanzado análisis térmico del proyecto. Por lo tanto, el software de modelización, nos debe de permitir generar los informes necesarios que incluyan como mínimo la siguiente información:

- Zonificación climática del proyecto con las solicitudes
- Los perfiles de uso normalizados con sus temperaturas de consigna
- Los parámetros característicos de la envolvente y las características de los equipos
- La descripción geométrica, constructiva y de usos del edificio
- Los procedimientos de cálculo utilizados
- Los valores del resultado de la modelización



Figura 3. Informes de Resultados.

## CONCLUSIONES

Estamos inmersos en un momento normativo apasionante, el cual supondrá una excelente oportunidad para para el establecimiento de un sistema de indicadores robusto basado en la norma ISO 52000-1 a través de los cuales se establezcan criterios objetivos para evaluar el nivel de eficiencia energética del edificio. En un momento en el que se establecen los requisitos que han de cumplir los EECN, se hace más necesario que nunca, disponer de herramientas computacionales que permitan diseñar en la fase del proyecto los EECN con garantías reconocidas.

## REFERENCIAS

- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios
- Orden FOM/1635/2013, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios. Ministerio de Fomento. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Energy Design Plugin: An EnergyPlus Plugin for SketchUp. U.S. Department of Energy
- Comparison of Building Energy Modeling Programs: Building Loads. Lawrence Berkeley National Laboratory
- The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. Lawrence Berkeley National Laboratory
- EEFG. 2008. EnergyPlus Example File Generator. U.S. Department of Energy
- Google 2008. SketchUp Ruby API Developer's Guide

## ROMPIENDO MITOS: “SI AUMENTAMOS LOS HUECOS AL NORTE, AUMENTA LA DEMANDA DE CALEFACCIÓN”

**Miguel Ángel Pascual Buisan**, Ingeniero Industrial, Profesor Asociado, Universidad Pública de Navarra

**Resumen:** Desde el punto de vista técnico, la constante mejora de la tecnología rompe con todo el conocimiento prestablecido. Por ejemplo, los valores actuales de transmitancia térmica que se pueden lograr en los huecos hoy en día convierten en leyenda la afirmación “hay que cerrar el edificio al norte”.

**Palabras clave:** Certificación Energética de Edificios, Eficiencia Energética, Código Técnico de la Edificación, Energy Plus, Norma 52000-1, SketchUp, OpenStudio

### INTRODUCCIÓN

En cualquier disciplina científica es necesario guardar cautela frente a los dogmas prestablecidos, ya que muchos de ellos, con el avance de la tecnología se demuestran erróneos. Es cierto que, en el ámbito de la energía edificatoria, estos postulados permiten economizar esfuerzos intelectuales o computaciones a la hora de optimizar el edificio. Sin embargo, es importante que periódicamente se vuelvan a revisar estos fundamentos, por si la evolución de la tecnología los ha podido dejar obsoletos.

Recientemente, en el análisis de un proyecto, se han producido unos resultados que nos sorprendieron y que requirieron el análisis objeto de esta comunicación.

En este estudio, por error, se realizó un análisis paramétrico de fuerza bruta en el que se estudiaba el porcentaje óptimo de superficie acristalada para una fachada norte. La sorpresa fue que, al aumentar la superficie acristalada a norte, la demanda de calefacción se reducía. El dato más relevante de este proyecto era que los huecos contaban con vidrios triples, con una transmitancia térmica de  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Por lo tanto, la pregunta es si cuando se mejora la transmitancia térmica de los vidrios, manteniendo un factor solar elevado, ¿llegan a prevalecer las ganancias de radiación difusa en los huecos de la fachada norte a las pérdidas por transmisión?

### METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado de dos formas. En primer lugar, se ha realizado una batería de simulaciones en las que se han cambiado el fichero climático, la superficie acristalada y el tipo de acristalamiento. Todas las simulaciones se han realizado la herramienta SG SAVE (en proceso de reconocimiento como método de certificación energética y que implementa como motor de cálculo el EnergyPlus) y por lo tanto las condiciones son las normalizadas para la certificación energética de los edificios residenciales.

Por otro lado, se ha realizado un análisis de los flujos de calor en los huecos con la gráfica de reparto de energía de la herramienta “eplusctekit” desarrollada por el Instituto Torroja y que parcialmente se incorpora a la herramienta SG SAVE.

El análisis paramétrico, se ha realizado sobre un cubo de dimensiones 10x10x3 m con un único hueco situado en la fachada norte, cuya superficie se ha variado desde el 10% al 90%. Los vidrios empleados han sido vidrios reales en el mercado, dada la relación que los valores de transmitancia térmica y los valores de factores solares no son totalmente independientes. Intencionadamente se han escogido vidrios con un alto factor solar.

Según se desprende del análisis de flujos de calor, las conclusiones son independientes de la construcción de la parte opaca de la envolvente, así como del factor de forma del cubo.

Las variaciones en los parámetros han sido:

- Zona climática: A3, D3, D1 y E1
- Superficies acristaladas a norte: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% y 90%
- Vidrios empleados:



- Vidrio simple claro:  $U=5,7 \text{ W/m}^2\text{K} - g = 0.85$
- Vidrio doble claro:  $U = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K} - g = 0.75$
- Vidrio bajo emisivo 1:  $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K} - g = 0.46$  (Climalit Plus con Cool Lite KNT 164 F2 6(16 argón90%)44.2
- Vidrio bajo emisivo 2:  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} - g = 0.64$  (Climalit Plus con Planitherm XN F3 6 (16 argón 90%) 4
- Vidrio triple:  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K} - g = 0.56$  (Climalit Plus con Planitherm XN F2 F5 6(14 argón 90%)4(14 argón 90%)44.2 DIAMANT

## RESULTADOS ANÁLISIS PARAMÉTRICO

En las siguientes tablas se muestran los resultados de la demanda de calefacción para cada zona climática. Se adopta como caso base para calcular los ahorros, el porcentaje de superficie acristalada del 10%.

### Zona climática E1

Demanda calefacción del caso base [kWh]					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	51.549	49.955	48.563	47.540	47.092.0

Ahorro demanda calefacción respecto al caso de base kWh %					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%
20%	-3.318 -6%	-1.971 -4%	-666 -1%	268 1%	711 2%
30%	-6.524 -13%	-3.921 -8%	-1.313 -3%	495 1%	1.366 3%
40%	-9.663 -19%	-5.871 -12%	-1.989 -4%	626 1%	1.950 4%
50%	-12.749 -25%	-7.822 -16%	-2.677 -6%	691 1%	2.465 5%
60%	-15.777 -31%	-9.763 -20%	-3.373 -7%	709 1%	2.946 6%
70%	-18.701 -36%	-11.649 -23%	-4.049 -8%	726 2%	3.399 7%
80%	-21.575 -42%	-13.529 -27%	-4.738 -10%	695 1%	3.797 8%
90%	-24.400 -47%	-15.461 -31%	-5.506 -11%	506 1%	4.040 9%

Las demandas de calefacción de los casos base (10% de superficie acristalada) son parecidas en los distintos tipos vidrios debido a que la superficie de hueco es pequeña. Al aumentar la superficie acristalada se observa que las demandas de calefacción aumentan para los casos de vidrio simple, vidrio doble y vidrio bajo emisivo 1. Sin embargo, para el vidrio bajo emisivo 2 y el vidrio triple, las demandas de calefacción disminuyen al aumentar el porcentaje de hueco.

### Zona climática D1

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con un clima con una severidad de verano menor.

Demanda calefacción del caso base [kWh]					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	36.243	35.027	34.003	33.141	32.808

Ahorro demanda calefacción respecto al caso de base kWh %					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%

10%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%
20%	-2.445 -7%	-1.405 -4%	-439 -1%	323 1%	658 2%
30%	-4.843 -13%	-2.823 -8%	-888 -3%	570 2%	1.242 4%
40%	-7.211 -20%	-4.257 -12%	-1.355 -4%	744 2%	1.752 5%
50%	-9.554 -26%	-5.704 -16%	-1.838 -5%	852 3%	2.194 7%
60%	-11.864 -33%	-7.153 -20%	-2.332 -7%	914 3%	2.585 8%
70%	-14.098 -39%	-8.560 -24%	-2.811 -8%	974 3%	2.967 9%
80%	-16.305 -45%	-9.972 -28%	-3.303 -10%	990 3%	3.302 10%
90%	-18.497 -51%	-11.445 -33%	-3.867 -11%	872 3%	3.507 11%

En este caso, se observa cómo se siguen las mismas tendencias y como a partir del vidrio bajo emisivo 2 (transmitancia térmica 1.1 W/m<sup>2</sup>K) el aumento de la superficie acristalada a norte reduce la demanda de calefacción.

### Zona climática A3

Por último, veamos qué ocurre en las zonas con un invierno ligero.

Demanda calefacción del caso base [kWh]					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	4.310	4.021	3.863	3.537	3.475

Ahorro demanda calefacción respecto al caso de base kWh %					
% hueco	Vidrio simple	Vidrio doble	Vidrio bajo emisivo 1	Vidrio bajo emisivo 2	Vidrio triple
10%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%	0.0 0%
20%	-415 -10%	-164 -4%	6 0%	244 7%	307 9%
30%	-864 -20%	-363 -9%	-6 0%	426 12%	550 16%
40%	-1.349 -31%	-593 -15%	-33 -1%	562 16%	743 21%
50%	-1.867 -43%	-851 -21%	-72 -2%	664 19%	897 26%
60%	-2.416 -56%	-1.130 -28%	-122 -3%	744 21%	1.025 29%
70%	-2.970 -69%	-1.410 -35%	-171 -4%	817 23%	1.142 33%
80%	-3.551 -82%	-1.713 -43%	-230 -6%	873 25%	1.240 36%
90%	-4.170 -97%	-2.064 -51%	-322 -8%	890 25%	1.304 38%

Los mismos efectos vistos en los casos anteriores se observan para las zonas con inviernos más cálidos.

## RESULTADOS ANÁLISIS FLUJOS DE CALOR

Para entender qué está pasando se analizan los flujos de calor a través del hueco. El flujo de calor neto anual será el balance entre la radiación solar (difusa) entrante y las pérdidas por transmisión. En aquellos casos en los que las

pérdidas por transmisión predominen sobre las ganancias por radiación, aumentar la superficie acristalada, aumentará la demanda de calefacción.

Para el vidrio simple, con un 10% de superficie acristalada, en la zona climática D3, se tiene la siguiente distribución de componentes:

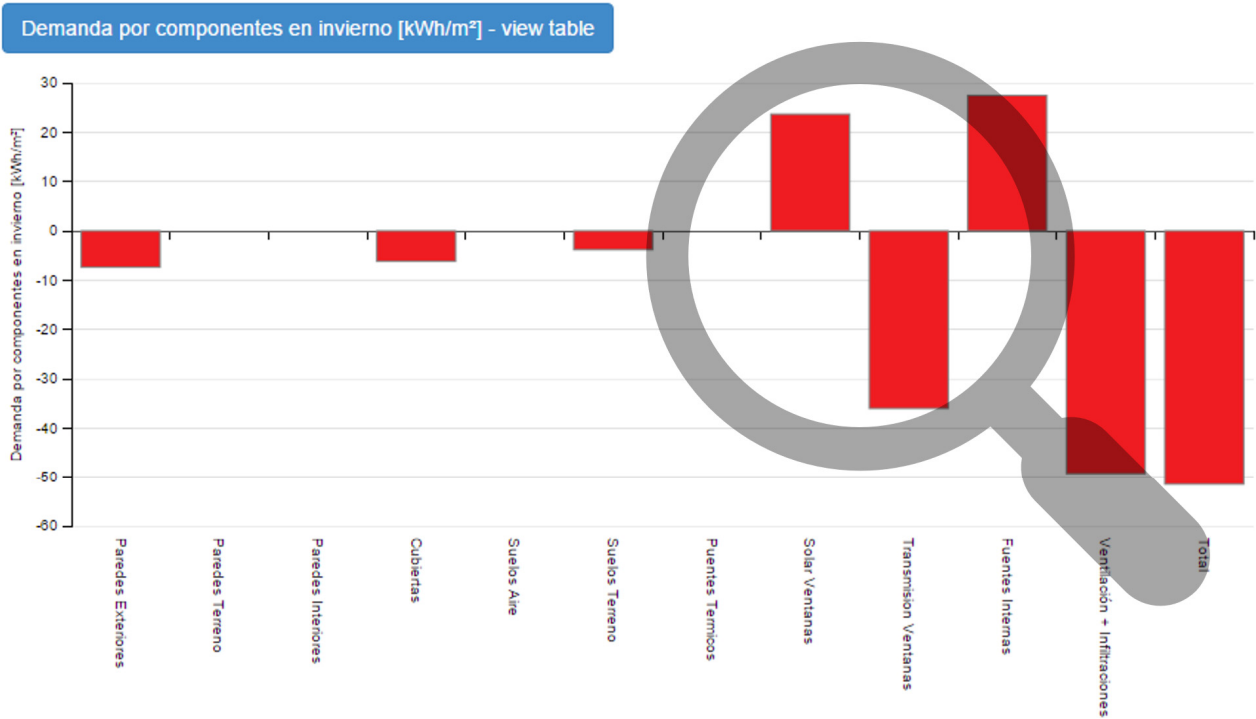


Figura 1. Demanda de calefacción por componentes. Las pérdidas de los huecos superan a las ganancias.

De esta gráfica se observa que las ganancias solares anuales son 24kWh/m<sup>2</sup>-año, mientras que las pérdidas son de transmisión son de 36 kWh/m<sup>2</sup>-año. Evidentemente con este vidrio, aumentarla superficie acristalada aumentará siempre la demanda de calefacción.

La gráfica correspondiente al vidrio triple es:

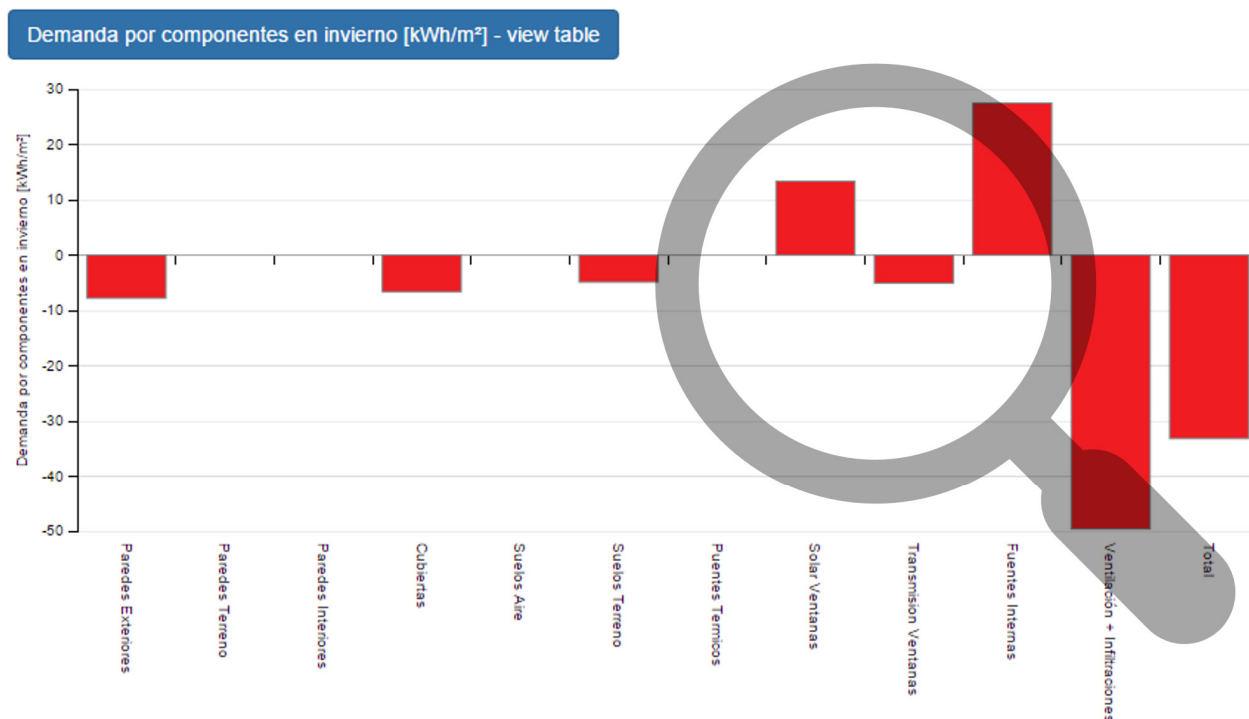


Figura 2. Demanda de calefacción por componentes. Las ganancias de los huecos superan a las pérdidas.

En esta gráfica se observa como las ganancias solares se han reducido a 13 kWh/m<sup>2</sup>-año (como consecuencia de la reducción del factor solar), sin embargo, como era de esperar, las pérdidas por transmisión se han reducido hasta dejarlas en un valor absoluto de 5 kWh/m<sup>2</sup>-año. Es decir, las pérdidas por transmisión se han situado en un valor inferior a las ganancias de radiación difusa. Con este tipo de vidrios cualquier aumento de su superficie se traducirá en una reducción de la demanda. Al ser un balance neto, este resultado es independiente de otros parámetros del edificio como pueda ser la compacidad o el nivel de aislamiento de la parte opaca o de la existencia de otros huecos.

## CONCLUSIONES

Como se ha podido demostrar, aumentar los huecos a norte, no implica necesariamente un aumento de las demandas de calefacción. En el mercado actualmente existen vidrios cuya transmitancia térmica es lo suficientemente baja para que las pérdidas por transmisión sean inferiores a las ganancias de radiación difusa, para cualquier zona climática de España.

Los procedimientos de certificación energética son poderosas herramientas que permiten mejorar el comportamiento energético del edificio y ahondar en el conocimiento de su eficiencia energética. Herramientas como SG SAVE, que utilizan el motor de cálculo del EnergyPlus y las utilidades de análisis y simulación paramétrica del OpenStudio, van a contribuir decisivamente en el desarrollo de los edificios de energía casi nula.

Las ideas preestablecidas, nos ahorran esfuerzo intelectual y computacional en el estudio de proyectos. Sin embargo, es necesario periódicamente reevaluarlas por si la mejora constante de la tecnología las ha podido dejar obsoletas. La simulación energética, se demuestra como una herramienta imprescindible para esta labor.

# ESTÁNDAR PASSIVHAUS, COMO MÉTODO DE DISEÑO, CÁLCULO Y EJECUCIÓN DE LOS EDIFICIOS CASI NULOS

Vanesa Ezquerro, CEO, Vanesa Ezquerro Arquitectura Passivhaus

**Resumen:** Se plantea una reflexión sobre la idoneidad de utilización del Estándar Passivhaus, y su programa de Cálculo y planificación (PHPP), como herramienta para el diseño de ECCN, así como la obtención de datos fiables y reales de demandas. Para ello, se presenta un caso de estudio, un proyecto de vivienda unifamiliar, donde se observa como con la misma definición constructiva, se obtienen datos muy dispares, en comparación con el programa de cálculo “oficial” HULC. De este estudio, se constata que el PHPP, por su gran alcance a la hora de tener en cuenta múltiples variables que influyen en la demanda y aportes de energía, así como los principios que tiene en cuenta el Passivhaus, y por tanto el PHPP, dan como resultado, datos más fiables de un ahorro energético real, llegando al consumo casi nulo, además de una previsión real, del futuro comportamiento del edificio.

**Palabras clave:** ECCN, Eficiencia Energética, Passivhaus, Ahorro Energético, Instalaciones, HULC, Lider-Calener

## INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de redacción de proyectos de edificios de consumo casi nulo, bajo el estándar Passivhaus, es este estudio de arquitectura, se ha observado cómo, en los cálculos de la demanda térmica (calor y frío) así como la demanda de energía total, salían valores bastante diferentes, al utilizar distintos programas de cálculo. Llegando en algunos casos a triplicar dichos valores, para el mismo edificio: Misma envolvente, mismas instalaciones, misma ubicación y orientación.

La cuestión principal es, que el programa de cálculo oficial en España, desarrollado por el Ministerio de Fomento, para la justificación de la demanda térmica y demanda total de energía (CTE-DB-HE0 y HE1). La herramienta unificada Lider-Calener, era, en todos los casos, la que estaba dando esas demandas tan altas. Mientras que el PHPP, la herramienta de cálculo de balance energético y planificación Passivhaus, desarrollado por el Passivhaus Institut, es la que aportaba los valores bajos.



Figura 1. Portada programa HULC.



Figura 2. Portada programa PHPP.

El problema que se planteaba inicialmente era la fiabilidad. ¿Qué datos eran los correctos? Porque si se tomaba como válidos los primeros, el edificio debería aislarse aún más, para llegar a un ECCN. Se diseñó pensando en realizar un edificio sin casi consumo, según el Passivhaus, pero al realizar los cálculos de demanda y calificación energética, para cumplir con CTE, se traslada el modelo al HULC, del que se obtenía un resultado muy distinto. Definitivamente, algo había que no cuadraba.

Así que se decidió, aprovechar un proyecto que estaba desarrollando hace 2 meses, para investigar sobre esta problemática que se había planteado.

## EL PROYECTO

Descripción: Vivienda unifamiliar aislada en Laguna de Duero (Valladolid) en una Planta, de 242.04 m<sup>2</sup> construidos, incluido garajes, y 142,10 m<sup>2</sup> calefactables. El cliente que estaba muy sensibilizado con los temas de eficiencia energética, reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, y ecología, expuso que tenía muy claro que su casa, debería diseñarse baso estos criterios, por lo que decidimos, basarnos en las exigencias establecidas en el Estándar Passivhaus:

- Demanda de Calefacción y refrigeración de 15 kWh/m<sup>2</sup>a.
- Carga de Calefacción 10 W/m<sup>2</sup>.
- Estanqueidad al aire 0.6 l/ h (a 50 Pa)
- Demanda de energía primaria no renovable (ER): 100 kWh/m<sup>2</sup>

Por tanto, se inició el diseño, teniendo además otros criterios de este estándar como la optimización de las orientaciones, protecciones solares pasivas, ganancias solares, etc., principalmente.



Figura 3. Infografía exterior proyecto de la vivienda    Figura 4. Infografía exterior proyecto de la vivienda.

## La Definición Constructiva

El resultado es que la carga de calefacción para una vivienda de 142.10 m<sup>2</sup> de superficie de referencia (Calefactable) se quedaba en: 1450 kW/a. por lo que solamente con un post-calentamiento en el sistema de ventilación, conseguíamos calefactar la vivienda a 20°C, como establece el estándar Passivhaus.

Por criterios de un mayor confort, y para dar respuesta a una posible demanda de temperatura interior (más de 20°C. Se incluyó una pequeña red de calefacción con 2 radiadores toalleros de baja temperatura (uno en cada baño) y un radiador de baja temperatura empotrado en el suelo, junto al gran ventanal.

Para esta instalación, así como para las redes de distribución de A.C.S. me pedía instalar unos aislamientos de 45mm. De espesor, dado que, por diseño, la sala técnica y depósito de multienergía donde se tomaba el calor, tanto la calefacción como para el A.C.S, se encontraba en un extremo de la vivienda, llegando a una longitud hasta el último punto de suministro de 45ml.

La edificación debía diseñarse en una única planta, por razones de accesibilidad y comodidad, por tanto, dada la alta proporción de envolvente, en este caso, se debe tener un especial cuidado en el diseño de los cerramientos para reducir las demandas térmicas.

Por eficiencia energética y de consumo de espacio, se optó por una solución de entramado ligero de madera, cubierta de madera oculta, ventanas de PVC Certificada por el Passivhaus Institut con una  $U=1 \text{ W/m}^2\text{K}$  y un triple vidrio con argón al 90% 4/48/4/18/4 bajo emisivo.

Una vez diseñada la distribución, volumetría definitiva de la edificación, y su configuración arquitectónica se introdujeron los datos en el PHPP (programa de verificación del cumplimiento del Passivhaus), con los siguientes valores  $U$  de los sistemas constructivos:

Suelo :  $U=0.161 \text{ W/(m}^2\text{.k)}$

Muro :  $U=0.123 \text{ W/(m}^2\text{.k)}$

Cubierta:  $U=0.143 \text{ W/(m}^2\text{.k)}$

Ventana:  $U=0.910 \text{ W/(m}^2\text{.k)}$

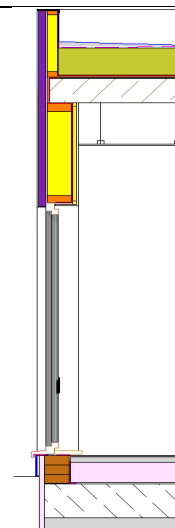


Figura 5. Sección constructiva.

## Cálculo según el PHPP: La Herramienta de Cálculo de Balance energético y planificación Passivhaus, para su verificación como Edificio de Consumo casi nulo

El PHPP, además de todo lo anteriormente expuesto, para el cálculo de todas estas demandas, ha tenido en cuenta los siguientes datos:

- Instalación de Calefacción. Longitud real de tubería para cada diámetro (25,20 y 16mm) , Aislamiento tubería  $D=45\text{mm}$  con  $\lambda=0.034$  . Temperatura de trabajo  $45^\circ\text{C}$
- Instalación de A.C.S. Longitud real de tubería para cada diámetro (25,20 y 16mm). Aislamiento tubería  $D=45\text{mm}$  con  $\lambda=0.034$ . Temperatura de trabajo  $45^\circ\text{C}$ , Capacidad de depósito acumulación A.C.S., temperatura de acumulación, Aislamiento del depósito, nº de grifos y nº de veces de apertura por usuario.

Por tanto, el programa tiene en cuenta las pérdidas que las tuberías tienen en cada instalación, repercutiendo tanto en el sobrecalentamiento en verano, como el de la mayor demanda de energía que requiere para contrarrestar estas pérdidas.

El resultado del cálculo según el PHPP era positivo, consiguiendo con este diseño, una “Casa Pasiva”.

De la figura nº 6, se observa, que el diseño realizado cumple, con todas las exigencias para una Casa Pasiva, sin duda, un edificio de consumo casi nulo, al observar los datos:

- Demanda de Calefacción:  $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Carga de Calefacción:  $10 \text{ W/m}^2$
- Demanda de Energía Primaria no renovable:  $97 \text{ kWh/m}^2$

Valores específicos del edificio con referencia a la superficie de referencia energética				Criterio		Criterios alternativos		¿Cumplido? <sup>2</sup>
Superficie de referencia energética m <sup>2</sup>				141,6				
Calefacción	Demanda de calefacción kWh/(m <sup>2</sup> a)	8	≤	15	-	-	Si	
	Carga de calefacción W/m <sup>2</sup>	10	≤	-	10	-	-	
Refrigeración	Demanda refrigeración & deshum. kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	≤	-	-	-	-	
	Carga de refrigeración W/m <sup>2</sup>	-	≤	-	-	-	-	
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C) %	3	≤	10	-	-	Si	
	Frecuencia excesivamente alta humedad (> 12 g/kg) %	0	≤	20	-	-	Si	
Hermeticidad	Resultado ensayo presión n <sub>50</sub> 1/h	0,6	≤	0,6	-	-	Si	
Energía Primaria no renovable (EP)	Demanda EP kWh/(m <sup>2</sup> a)	97	≤	100	-	-	Si	
	Demanda PER kWh/(m <sup>2</sup> a)	63	≤	-	-	-	-	
Energía Primaria Renovable (PER)	Generación de Energía Renovable (en relación con área de la huella del edificio proyectado) kWh/(m <sup>2</sup> a)	0	≥	-	-	-	-	

<sup>2</sup> Ceñida vacía: Falta dato; '-': Sin requerimiento

Confirmando que los valores aquí presentados han sido determinados siguiendo la metodología de PHPP y están basados en los valores característicos del edificio. Los cálculos de PHPP están adjuntos a esta comprobación.

¿Casa Pasiva Classic? **Si**

Función: Diseñador Nombre: Vanesa Apellido: Ezquerro Ramos  
 Emisión: 09/07/06 Ciudad: Palencia

Figura 6. Hoja de verificación y datos de consumo, de la vivienda calculada según el PHPP.

La Demanda de energía primaria no renovable es la total del edificio, esto es, incluye todos los consumos energéticos, incluyendo iluminación, electrodomésticos, bombas de circulación, cualquier equipo de consumo eléctrico previsto, y los propios equipos de ventilación, calefacción y producción de A.C.S. Es por ello, que el límite es bastante superior al establecido por el CTE-DB-HE0. Dado que este último solo tiene en cuenta el consumo de climatización y producción de A.C.S. Sanitaria.

**Demanda energética total de ACS**

Pérdidas calor de ACS en distribución y almacenamiento $Q_{p2}$	kWh/a	4851	kWh/(m <sup>2</sup> a)	34,3
Rendimiento distribución de ACS y almacenamiento $\eta_{d,ACS}$	401%			
Demanda total de calor del sistema de ACS Incluyendo tanque/acumulador de almacenamiento $Q_{total,ACS}$	kWh/a	6465	kWh/(m <sup>2</sup> a)	45,6

Figura 7. Hoja de verificación y datos de consumo de A.C.X., de la vivienda calculada según el PHPP.

Además, debe ponerse en valor, la información sobre la frecuencia de sobrecalentamiento, que se ofrece con El PHPP. Según este cálculo, el edificio solamente va a sobrepasar un 3 % anual, la temperatura de 25°C. Por lo que, se estima que no es necesario un sistema de refrigeración activo.

**Cálculo según el HULC: La Herramienta unificada Lider-Cálener**

Una vez introducido el modelo, del edificio con la misma definición constructiva e instalaciones. En este caso, solamente tiene en cuenta las instalaciones térmicas: Calefacción, refrigeración y producción de A.C.S., dejando de lado otras instalaciones y punto de consumo eléctricos Además la base de cálculo para la eficiencia energética de las instalaciones es el Reglamento de Instalaciones del Edificios, que entre otras cosas no tiene en cuenta el aumento de las demandas, debido a las pérdidas energéticas de las tuberías, debido a factores como diámetro, temperatura de fluido y espesor de aislamiento. Únicamente establece unos aislamientos mínimos de tuberías, para determinado ahorro energético sin definir éste.



Procedemos a realizar el cálculo en el HULC, y esta es la tabla resumen que obtenemos:

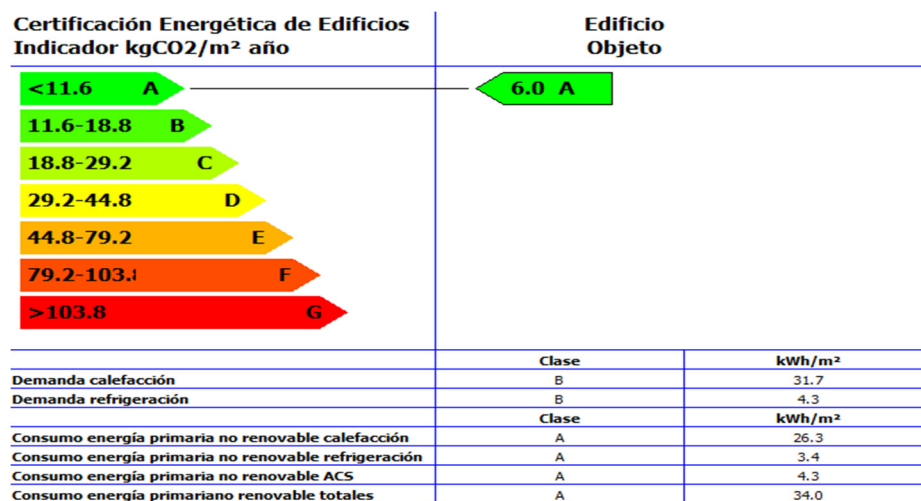


Figura 8. Verificación Cumplimiento Limite Demanda, y límite de consumo según CTE-EH1 y CTE-EH0.

- Demanda de Calefacción 31,67 kWh/m²\*a. según el CTE-EH1. Estableciendo el límite en 40,98 kWh/m²a.
- Demanda de Refrigeración 4,34 kWh/m².a según el CTE-EH1. Estableciendo el límite en 15 kWh/m²a.
- Demanda de energía primaria no renovable 34,03 kWh/m²\*a. Estableciendo su límite en 80,97 kWh/m²a. según el CTE-EH0., en el cual no se ha tenido el resto de consumos energéticos como electricidad, iluminación, ventilación u otros aparatos de consumo como los electrodomésticos.

## RESULTADOS

Como se observa al primer golpe de vista es, sobre todo, la disparidad de los resultados obtenidos, para un mismo edificio:

Criterio	Método PHPP	Método HULC
Demanda de Calefacción	8 kWh/(m2a)	31,67 kWh/(m2a)
No la considera necesaria		4,34 kWh/(m2a) no tiene en cuenta el refrescamiento nocturno con ventilación cruzada y ventilación en ByPPas.
Demanda de Energía Primaria no renovable	97 kWh/(m2a) Tiene en cuenta todos los consumos energéticos de la vivienda.	31,67 kWh/(m2a) Solo tiene en cuenta los consumos energéticos de la calefacción, refrigeración y ACS.
Demanda de A.C.S.	45,6 kWh/(m2a) Incluye consumo para la producción de A.C.S. y las pérdidas de la instalación	4,3 kWh/(m2a) Únicamente tiene en cuenta el consumo de la producción de energía.
Estanqueidad al Aire	0,6 l/h	No se tiene en cuenta.

Al observar con más detenimiento, y se constata que cada programa tiene en cuenta, unos factores a la hora de realizar los cálculos. Y esto, tiene una repercusión muy directa, tanto en los datos resultantes de dicho cálculo, como de su adecuación y relación con el resultado final: consumos reales y comportamiento del edificio terminado.

1. El PHPP, toma en cuenta muchos factores intrínsecos al edificio, que de una forma muy directa, influyen en las demandas y consumos.
  - 1.1. En la **instalación de Calefacción**: Diámetro de tuberías, Tº del fluido, espesor y “λ” del aislamiento, además del consumo y eficiencia del equipo de producción de calor.
  - 1.2. En la **instalación de A.C.S.** No solo tiene en cuenta la eficiencia del equipo de producción, sino otros elementos como depósito de acumulación, capacidad y pérdidas que se producen en éste. Longitud de

tuberías de distribución,  $T^{\circ}$  del A.C.S., Diámetro de las tuberías, Espesor del aislamiento, y " $\lambda$ " del mismo. Además, nº de usuarios de la vivienda, nº de puntos de consumo, y nº de apertura de los grifos al día. Por tanto, este método es más real. Además, es lógico pensar que la demanda de ACS, en este caso sea mayor, que la calculada con HULC.

- 1.3. En la **Demanda de energía primaria**: se tiene en cuenta todos los aparatos y puntos de consumo: equipo de calefacción y ACS, bombas de circulación, pérdidas en cada instalación, equipo de refrigeración, si fuera necesario. consumo del equipo de ventilación,
- 1.4. El PHPP, tiene en cuenta sistemas de refrescamiento, que no consumen energía, para la época estival. Lo cual reduce considerablemente las demandas de energía para la refrigeración y por tanto el consumo de energía total.
2. El PHPP, tiene en cuenta la hermeticidad de la vivienda, lo cual influye muy positivamente, reduciendo la demanda y consumos de calefacción. El CTE establece límites únicamente a la permeabilidad de ventanas y puertas.
3. El Passivhaus es un estándar de diseño que lleva poniéndose en práctica desde el año 1991. Con más de 30000 edificios construidos, y muchos de ellos monitorizados. Registrando a día, los consumos y temperaturas que son estudiados y almacenados. Y finalmente, se ha verificado que, en todos los casos, la exactitud del método. Al coincidir de los datos de cálculo, y los datos reales durante su uso.
4. El HULC, es un programa de cálculo, que no tiene en cuenta tantas variables, únicamente la composición arquitectónica, y las instalaciones térmicas en cuanto a RITE, así como los consumos y rendimientos de los equipos térmicos. Su antigüedad es de 2007, y durante este periodo de funcionamiento, se ha observado que es un programa poco ambicioso a la hora de diseñar ECCN.
5. Cada programa establece unos límites de demanda y consumos, que en todos los casos, y estudiando sus particularidades, en el HULC (y por tanto CTE), es mucho mayor, lo que parece, a priori, alejarse del modelo ECCN.

## CONCLUSIONES

Si queremos diseñar un edificio de consumo casi nulo, deberíamos partir de métodos que limite considerablemente el consumo y demanda del edificio, y por tanto, el PHPP, bajo el estándar Passivhaus, lo es. Son límites extremadamente bajos, pero fáciles de conseguir con un diseño adecuado, a un precio competitivo de mercado.

- Demanda de Calefacción y refrigeración de 15 kWh/m<sup>2</sup>a.
- Carga de Calefacción 10 W/m<sup>2</sup>.
- Estanqueidad al aire 0.6 l/ h (a 50 Pa)
- Demanda de energía primaria no renovable (ER): 100 kWh/m<sup>2</sup>

El PHPP, tiene en cuenta todos los factores, equipos e instalaciones del edificio que de algún modo influyen en la eficiencia y por tanto de la demanda de energía, incluyendo el diseño pasivo y métodos de uso y mantenimiento pasivos, como es la ventilación nocturna cruzada en el verano. Hecho que se tiene en cuenta, desde el momento de diseño del edificio.

El PHPP, tiene en cuenta los valores de estanqueidad al aire, que se determinan mediante un ensayo denominado Blower Door. La estanqueidad limita las pérdidas incontroladas de energía que se producen en el edificio, y por tanto, reducen la demanda de calefacción.

El PHPP y el estándar Passivhaus, establece como obligatorio la realización de la instalación de ventilación con doble flujo, más un recuperador de calor, con un rendimiento mínimo del 75%. Esto, reduce la demanda de calefacción /refrigeración un 20%. Por lo tanto, es una instalación, que debe considerarse básica para un ECCN.

Y finalmente, el PHPP, se ha demostrado durante los 26 años de utilización como un método de cálculo válido, eficiente, veraz y riguroso.

Por tanto, debe considerarse el estándar Passivhaus, y su programa de Planificación PHPP, como un método más que adecuado, para el diseño y cálculo de los ECCN, puesto que, a tenor de observado con el ejemplo mostrado, el resultado final, es un ECCN al 100%.

# POTENCIAL DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN NATURAL PASIVA EN LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO -PROYECTO PILOTO DE UN COLEGIO EN ANDALUCÍA

**Maite Gil Báez**, Arquitecto MSc, Dirección de Obras y Construcciones Educativas, Agencia Pública Andaluza de Educación (APAE), Consejería de Educación

**Carmen Roldán Vendrell**, Arquitecto, Directora de Obras y Construcciones Educativas, Agencia Pública Andaluza de Educación (APAE), Consejería de Educación

**Ángela Barrios Padura**, Doctor Arquitecto, Universidad de Sevilla

**Marta Molina Huelva**, Doctor Arquitecto, Universidad de Sevilla

**Resumen:** Los Sistemas de Ventilación Natural pueden garantizar la Calidad del Aire Interior de los espacios sin consumir electricidad, operando por la acción del viento y las diferencias de presiones generadas en el edificio. Según el estudio teórico realizado en edificios de uso escolar en el ámbito territorial de Andalucía, con base en simulaciones termodinámicas y de CFD (Computational Fluid Dynamics), estos sistemas permiten la efectiva renovación del aire interior del aula con posibles ahorros anuales de hasta el 26% de energía final y el 49% de emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con sistemas de ventilación mecánica, constituyendo una alternativa factible, viable, sostenible y rentable. Así mismo, su uso permite reducir los costes de inversión inicial entre 8-10% y evitar problemas de funcionamiento. Presentamos el proyecto de un colegio de educación infantil y primaria que se utilizará como test para estudiar el funcionamiento y prestaciones de un Sistema de Ventilación Natural en comparación con un Sistema de Ventilación Mecánica. En cuanto al ahorro estimado de electricidad estimado en este caso es del entorno de 25.988 kWh por año en energía final y de 35,3 T de CO<sub>2</sub>. Estos sistemas son igualmente viables en otro tipo de edificios y destacable como estrategia de refrigeración pasiva en Edificios de Consumo casi Nulo.

**Palabras clave:** Arquitectura Sostenible, Ventilación Natural, Refrigeración Pasiva, Ahorro Electricidad, Reducción de la Huella de Carbono, Edificio de Consumo Casi Nulo, Colegios, Calidad del Aire Interior

## INTRODUCCIÓN

Según la Directiva Europea 2002/91/CE [1] relativa a la eficiencia energética de los edificios, el 40% de la energía consumida en la UE es debida al funcionamiento de los edificios, siendo el 60% de este consumo debido a los sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Visto lo anterior, cumplir con los objetivos marcados por las Directivas Europeas y los edificios de consumo casi nulo, pasa por trabajar en la reducción del consumo de energía para el acondicionamiento interior. Diferentes estudios y publicaciones analizan el potencial de los sistemas de ventilación natural para garantizar adecuados niveles de Calidad del Aire Interior (CAI) y de confort con un consumo mínimo de energía eléctrica. Como ejemplo de su interés, se han identificado más de 90 publicaciones en Scopus en los últimos 10 años relacionadas con el tema. En este trabajo se presenta el proceso de diseño y aplicación práctica de un Sistema de Ventilación Natural (SVN) en un edificio escolar en Andalucía, como alternativa y para evitar los problemas y limitaciones de los sistemas de ventilación mecánica utilizados desde la publicación de la última versión de 2007 del Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) [2].

## Los edificios escolares: marco y particularidades

Los edificios escolares constituyen un grupo importante dentro del sector de la edificación. En el ámbito Mediterráneo hay más de 80.000 escuelas. Su consumo de energía es importante, estimándose sólo en España según algunas publicaciones que este sector consume el 4% de la energía del sector comercial. Sólo en Andalucía el parque público de edificios escolares está compuesto actualmente por unos 4.500 centros, y más de 5.000 edificios.

El interés en investigar la mejora de la eficiencia en edificios de uso docente se refleja en numerosas publicaciones y proyectos internacionales de investigación [3] [4]. Estos edificios constituyen un sector único, muy diferente de otros, presentando tipologías específicas y patrones de uso particulares. Así mismo, les diferencia el tipo de instalaciones y el modo de usar la energía. En líneas generales, son destacables los siguientes aspectos: a) diseño basado en una organización racional de los espacios con clases que se suelen agrupar en torno a un pasillo. Disponen de grandes ventanales para favorecer la iluminación natural, así como montantes acristalados al pasillo interior para favorecer la ventilación e iluminación cruzadas. b) Demanda de calefacción reducida tanto por el clima como por las cargas internas

de ocupación. Demanda de ventilación constante a lo largo de todo el año para garantizar la CAI. c) Están en uso sólo la mitad de los días del año (175 de media), con jornadas medias de 6 horas de ocupación efectiva. d) Las aulas son espacios de ocupación no permanente, (descansos entre lecciones y cambios de clase) y alta densidad de ocupación.

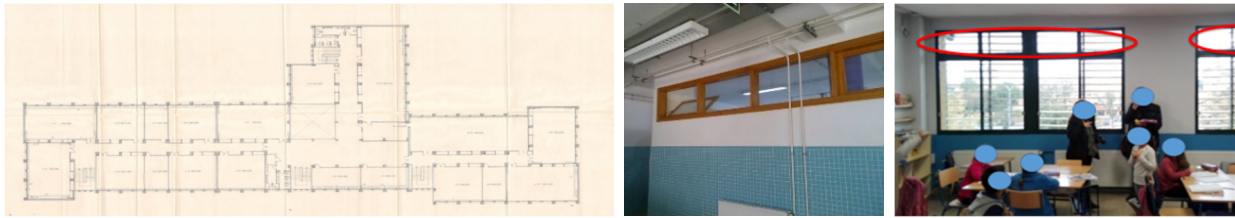


Figura 1. Edificios escolares a) izda: planta tipo, b) centro: montantes a pasillo; c) dch: ventanas en fachada.

En diversas publicaciones se relaciona la calidad del aire interior en aulas con el rendimiento académico, así como con la salubridad, dada la alta densidad de ocupación de este espacio.

### Calidad del ambiente interior. Problemas de los SVM

En las construcciones de uso educativo la calidad del aire interior se ha garantizado tradicionalmente con estrategias de ventilación natural [5] [6]. Con la publicación del Código Técnico de la Edificación (CTE) se incrementó la hermeticidad de las edificaciones para reducir el consumo de energía, lo cual llevó también a tener que regular el aspecto de la ventilación para evitar condensaciones, mohos, etc... El CTE reguló este asunto en el DBHS para edificios de viviendas, remitiendo al RITE 2007 para otros usos “no vivienda”, grupo en el cual se incluía a los de uso educativo junto con otros muy dispares de los anteriores.

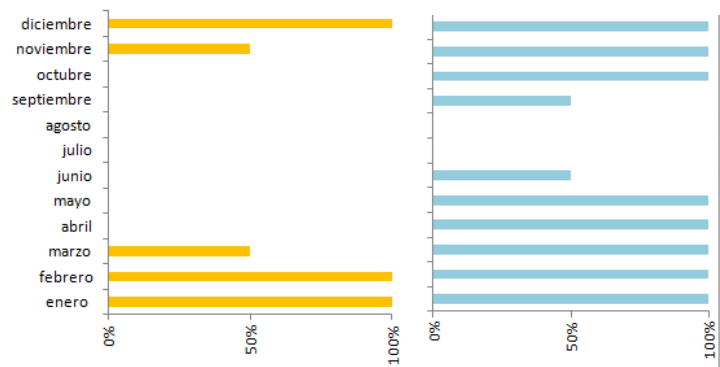


Figura 2. a) izda: UTA en cubierta de un centro escolar; b) dcha: porcentaje mensual de días con necesidad de calefacción en amarillo y de ventilación en azul.

Al aumentarse la hermeticidad y reducirse las infiltraciones, se limitó la posibilidad de considerarlas en el cálculo de la renovación del aire del interior de los espacios, que era posible según el RITE anterior de 1998 (RD 1571/1998 de julio), describiendo el RITE 2007 en sus IT sólo el diseño de sistemas centralizados de tratamiento del aire (UTAs). Debido a una interpretación extremadamente literal del mismo, en la última década se ha extendido la solución de ventilación mecánica en los edificios de uso educativo en Andalucía. Esto ha trasladado numerosos problemas al uso educativo, siendo el primero de ellos no poder aprovechar el potencial del clima, seguido de utilizar elevadas cantidades de energía eléctrica en movilizar un aire que bien podría introducirse en el edificio sin gasto energético, y haciéndolo a través de conductos, condicionando la salubridad al mantenimiento. Desde un enfoque económico, cabe señalar el coste de la electricidad en el funcionamiento en adición a los requerimientos de mantenimiento y reposición de piezas junto con la inversión inicial. Todo lo anterior ha hecho necesario buscar una solución alternativa, en aras de una mejor utilización de los recursos públicos, así como el mejor cumplimiento de las directrices de reducción del consumo de energía.

## Ventilación Natural: antecedentes, fundamentos y estrategias y normativa de referencia

Está demostrado que la utilización de Sistemas de Ventilación Natural mejoran la CAI a la vez que permiten reducir el consumo energético de ventilación y refrigeración [7]. Su funcionamiento se fundamenta en la mecánica de fluidos, en la acción del viento y la diferencia de presiones sobre la edificación y a través del mismo así como el efecto chimenea, describiéndose el proceso de uno u otro modo por las ecuaciones de Navier-Stokes.

No deben confundirse en ningún caso con infiltraciones no controladas, ya que estos sistemas se diseñan y calculan hoy en día con mucha exactitud gracias al desarrollo de los programas de cálculo de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) aplicados al diseño arquitectónico (Fluent, Designbuilder...). En cuanto al tipo de admisión en fachada, estas se clasifican en 3 tipos: a) a una cara, b) ventilación cruzada y c) efecto chimenea. De este modo, el diseño de SVN debe estar presente desde el primer momento del diseño de los edificios, dificultándose su implementación en edificios ya configurados arquitectónicamente. Su inclusión en los edificios escolares es sencilla, dados los esquemas de diseño generalizados y relacionados íntimamente con la forma de funcionamiento de los edificios.

Existen numerosos ejemplos internacionales de sistemas de ventilación natural en escuelas (UK, Australia, Alemania), así como en otros tipos de edificio. Actualmente su potencial de utilización se está evaluando también en países de la cuenca mediterránea como Italia [6], y Portugal [8].

Estos sistemas están especialmente estudiados en UK por las Universidades de Nottingham y Brunel. Así mismo, el organismo CIBSE, tiene una división especializada en ventilación natural [9] y el Departamento de Educación inglés una guía específicamente orientada al estudio de la ventilación en edificios de uso educativo [10], siendo una exigencia su utilización preferente frente a otros sistemas.

Todo ello identifica los SVN como una alternativa factible viable y sostenible a implementar en los edificios escolares andaluces en lugar de los actuales SMV. En adición a lo anterior, cabe señalar que tradicionalmente se incorporaban SVN en las aulas de los edificios escolares andaluces, basados en el efecto chimenea y con un resultado óptimo en su funcionamiento, tal como se recoge en el artículo [5].

## METODOLOGÍA DEL PROYECTO

La metodología se ha desarrollado en dos etapas: a) análisis y cálculo, b) aplicación práctica, c) test de resultados

### Análisis y cálculo

En primer lugar, se analiza la normativa de referencia, así como se estudian y analizan ejemplos y casos prácticos de diseño expuestos en la misma. Vista la extensa aplicación en otras geografías como la inglesa, se analiza la viabilidad de su aplicación en Andalucía para cumplir con las exigencias técnicas del RITE español, tras lo cual se estudian las posibilidades que ofrecen los programas de cálculo de CFD, así como las herramientas existentes en el mercado. Una vez comprobada la factibilidad de diseño y cálculo de un SVN en escuelas en Andalucía como alternativa a los mecánicos, se procede al diseño y dimensionamiento utilizando el programa Designbuilder, realizando tanto cálculos termodinámicos como del comportamiento del aire en el aula como un fluido, simulado con el módulo de CFD del propio programa informático.

Paralelamente a lo anterior, se llevan a cabo ensayos y la monitorización de un centro escolar con un SVN operativo, con resultados altamente positivos [5]. Para el diseño del modelo de cálculo se han tomado de base tanto las experiencias inglesas como los antiguos SVN utilizados en Andalucía. El objetivo era comprobar la viabilidad de utilización de estos utilizando herramientas de cálculo actuales, dimensionándolos en base a las mismas, y mejorándolos en su funcionamiento con la tecnología actual.

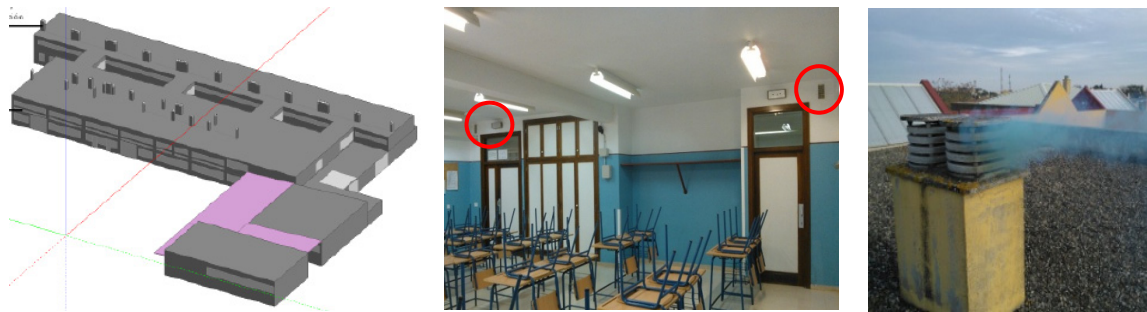


Figura 3. a) izda: modelo simulación; b) centro: aula con shunts de VN; c) dcha: salida de shunts de VN a cubierta.

Se utiliza como referencia para el diseño y cálculo la normativa desarrollada por los organismos antes mencionados: “Natural Ventilation in non-domestic buildings” CIBSE Applications Manual AM10. ISBN 1 903287 56 1; “Building Bulletin 101. Ventilation of School Buildings” CIBSE. Regulations Standards. Design Guidance. ISBN 011-2711642; “Integrated School Design” CIBSE TM-57. ISBN 978-906846-52-7. Como modelo de cálculo se utiliza un edificio prototipo representativo de la tipología más extendida (figura 3), en el que se diseñan sendos sistemas de ventilación mecánica y natural para analizarlas comparativamente. Ambos se incluyen en aulas y espacios de alta densidad de ocupación.

El SVM se compone de UTAS con recuperación de calor con dos redes de conductos para la impulsión y la extracción del aire. El SVN tiene como esquema la admisión a través de aperturas motorizadas ubicadas en la parte superior del cerramiento y la extracción a través de shunts dispuestos en la pared opuesta a fachada y conectados con la cubierta. El aire circula entrando a través de las admisiones barriendo el espacio y produciéndose la expulsión a través de cubierta. La operación se encuentra automatizada con sondas de CO<sub>2</sub> que operan las aperturas cuando se alcanzan las 1.000 ppm (figura 6). En ambos casos el sistema de calefacción es por radiadores de agua caliente con producción de calor centralizada en caldera. Se utilizan distintos tipos de combustible según la zona climática de simulación (5 en total para Andalucía).

Se obtienen como resultados los consumos de energía final en cada una de las zonas climáticas andaluzas para cada tipo de sistema (SVN vs SVM), realizándose en total 10 simulaciones termodinámicas del edificio a lo largo de todo el curso escolar. Estas se complementan con simulaciones en CFD para comprobar la efectiva circulación del aire a través del espacio. Se observa el ahorro de energía y la adecuada circulación del aire en todas ellas en todos los casos, tal como se muestra en las imágenes a continuación:

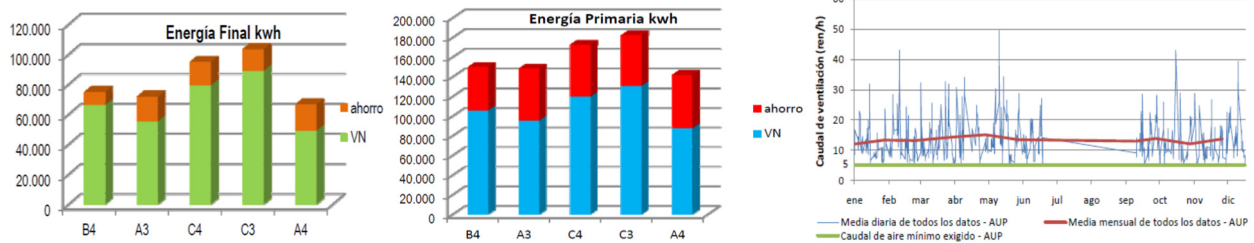


Figura 4. Resultados SVN vs SVM. a) izda: ahorro energía final; b) centro: ahorro energía primaria; c) dcha: ren/h zona climática B4.

El edificio consume menos energía en cómputo global anual operando con sistemas de ventilación natural que con sistemas de ventilación mecánica, aún cuando estos últimos dispongan de recuperadores de calor, demostrándose que la utilización de los SVN son una alternativa factible, viable y sostenible de garantizar la calidad del aire interior en los edificios escolares en Andalucía. El ahorro se debe fundamentalmente a la electricidad que consumen las UTAS en su funcionamiento. En los resultados, el programa de cálculo ha tenido en consideración la ventilación en ambos casos como una pérdida de carga en invierno. Ahora bien, en épocas en que no es necesaria la calefacción, el ahorro de SVN es del 100% de electricidad, ya que la Calidad del Aire Interior se garantiza sin consumo eléctrico.

## Aplicación práctica

Con los resultados obtenidos se diseña un sistema estándar para los nuevos edificios escolares.

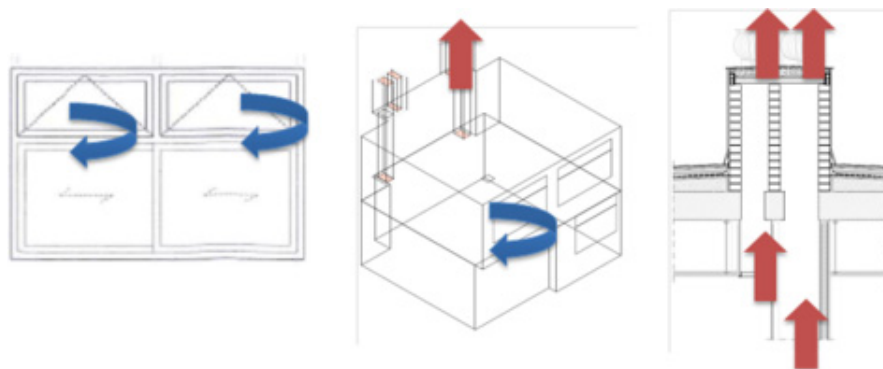


Figura 5. Diseño sistema estándar. a) izda: ventana motorizada en fachada; b) y c) esquema de circulación y salida a cubierta a través de shunts en la pared opuesta a fachada.

## Test de resultados

En 2017 se construye el primer edificio con este SVN estándar que servirá como test para analizar comparativamente el funcionamiento, consumo y prestaciones de ambos sistemas y validar la operación del SVN. Para ello, también se incluye un SVM compuesto por 6 UTAS en cubierta (500 W; 2x1500 W and 3x11000 W). Se ubica en Mairena del Aljarafe, Sevilla, zona B4, en una zona suburbana a 8 km del centro de la capital con una calidad del aire exterior adecuada y no contaminada. Es un centro de educación infantil y primaria (3-12 años), con 27 aulas y una ocupación de 25 niños máximo más el profesor. Las clases se desarrollan de 9:00 a 14:00 horas. El comedor de 14:00 a 16:00. Podrá haber alguna actividad extraescolar por la tarde, entre octubre y mayo, en su caso, que normalmente suelen ser actividades deportivas. El edificio tiene planta baja más primera y 4.300 m<sup>2</sup> construidos.

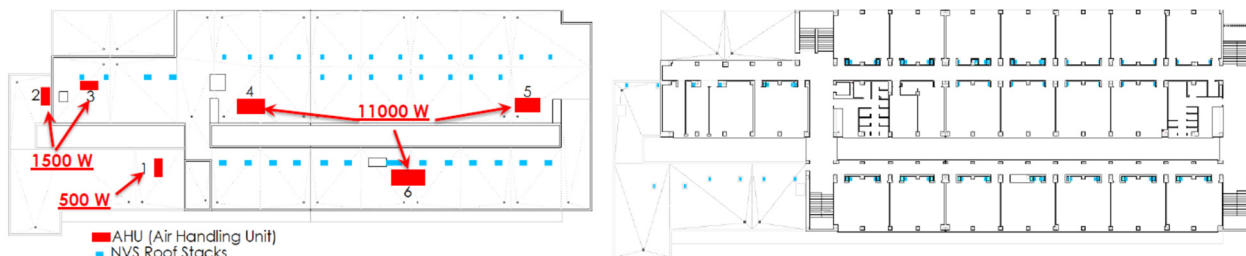


Figura 6. Edificio test. a) izda: cubierta; b) dcha: planta primera.

Según los datos del proyecto, la potencia térmica instalada es de 250,2 kW. La potencia eléctrica es de 294,5 kW, debido fundamentalmente al funcionamiento del sistema de ventilación mecánica. Por este motivo además se ha tenido que instalar un centro de transformación específico para el centro. El coste total de construcción era de 4.464.839,49 €, con un importe dedicado al capítulo de 59.000 € para el Sistema de Ventilación Natural y de 230.105 € para la Ventilación Mecánica, suponiendo esta última el 5,54% del coste total de construcción del edificio.

Si se consideran 178 días lectivos y el SVM funcionando una media de 4 horas netas al día, los ahorros en electricidad esperados podrían ser del entorno de 25.988 kWh al año. Incluso considerando el incremento en el gasto por calefacción debido a la operación del SVN cuando está funcionando, los ahorros estimados en términos de energía primaria y de emisiones de CO<sub>2</sub> estarían en el entorno de 52.770 kWh al año y 35,3 toneladas de CO<sub>2</sub> respectivamente. Además, se debe considerarse la reducción de los gastos de mantenimiento y la mejora del confort interior (actuando como refrigeración pasiva).

## CONCLUSIONES

Los edificios de uso educativo constituyen un sector único con características particulares muy diferenciadas de otras tipologías, que los identifica como grupo y los separa de otros tipos de edificios. Todo ello debe ser tenido en cuenta tanto en el propio diseño de los edificios e instalaciones como en cualquier estrategia o innovación normativa que se realice que pueda afectar a los mismos. Los Sistemas de Ventilación Natural pueden ser utilizados en edificios escolares en clima templado para garantizar la calidad del aire interior, resultando una alternativa factible, viable, sostenible y rentable y cumpliendo las indicaciones de las directivas europeas en materia energética de modo mucho más eficiente que utilizando sistemas de ventilación mecánica. Según los resultados obtenidos para Andalucía, pueden obtenerse ahorros anuales de hasta el 26% de energía final y el 49% de emisiones de CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, al no estar sometidos a requerimiento de mantenimiento exhaustivo, cambio de filtros, etc... garantizan de modo más fiable la salubridad en los espacios de uso educativo.

En el edificio test en construcción se han estimado posibles ahorros de energía primaria de 52.770 kWh al año y 35,3 toneladas de CO<sub>2</sub>. Estos sistemas de ventilación natural deben ser tenidos en consideración para el diseño de edificios de bajo consumo energético en otras tipologías edificatorias, por su potencial como estrategias de refrigeración pasiva.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolla como parte del proyecto ClimACT (SOE1/P3/P0429EU) dentro del programa Interreg Sudoe Programme, financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional. Agradecemos a la Agencia Pública Andaluza de Educación y a todos los implicados en el proyecto su colaboración.

## REFERENCIAS

- [1] European Parliament, “Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency,” Off. J. Eur. Union Dir., no. October, pp. 1–56, 2012.
- [2] E. Y. T. Ministerio de Industria, “Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios,” p. 137, 2013.
- [3] “ClimAct. Transition to a low carbon economy in schools,” 2017. [Online]. Available: <http://www.climact.net/>.
- [4] “Promoting renovation of schools in a Mediterranean climate up to nearly Zero-energy buildings | ZEMeS.” [Online]. Available: <http://www.zemedes.eu/>. [Accessed: 23-Mar-2017].
- [5] M. Gil-Baez, M. Molina-huelva, and R. Chacartegui, “Natural ventilation systems in 21st-century for near zero energy school buildings,” 2017.
- [6] L. Stabile, M. Dell, A. Frattolillo, A. Massimo, and A. Russi, “Effect of natural ventilation and manual airing on indoor air quality in naturally ventilated Italian classrooms,” Build. Environ., vol. 98, pp. 180–189, 2016.
- [7] Y. Chen, Z. Tong, and A. Malkawi, “Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations,” Build. Environ., vol. 122, pp. 386–396, 2017.
- [8] U. De Lisboa, “Classroom ventilation with manual opening of windows: Findings from a two-year-long experimental study of a Portuguese secondary school,” vol. 124, pp. 118–129, 2017.
- [9] “CIBSE - Natural Ventilation Group.” [Online]. Available: <http://www.cibse.org/networks/groups/natural-ventilation>. [Accessed: 22-Mar-2017].
- [10] Department for Education and skills, Building Bulletin 101 Ventilation of School Buildings, no. July. Department for Education and skills, 2006.



# INFLUENCIA DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO EN LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE EDIFICIOS DE OFICINAS, ANÁLISIS DE CINCO CASOS PIONEROS EN EL REINO UNIDO Y SUIZA

Rafael Alonso Candau, Director, ATMOS lab

**Resumen:** La constante revisión de normativas ha llevado a una efectiva reducción del consumo energético de edificios nuevos. Simultáneamente, el avance en energías renovables disminuye el contenido en CO<sub>2</sub> de la energía que éstos usan. Debido a esta progresiva decarbonización de la energía y menor consumo energético, las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la construcción de las edificaciones y fabricación de sus materiales aumentan proporcionalmente, llegando a sobrepasar las asociadas a su operación durante todo su ciclo de vida (El Khouli et al, 2015). Sin embargo, éstas no están reguladas ni los estándares desarrollados. El presente artículo recoge el análisis de cinco edificios pioneros, cuyo diseño se centró tanto en la reducción de su consumo energético (55-75% inferior a la normativa británica), como en la reducción de su huella de carbono, de un valor absoluto equiparable. Para concluir, un análisis conjunto permite extraer tendencias y comparar su eficacia con a los estándares más recientes aplicables a edificios de oficinas.

**Palabras clave:** Diseño Bioclimático, Huella de Carbono, Emisiones CO<sub>2</sub>, Oficinas, Impacto Ambiental

## INTRODUCCIÓN

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de edificios están directamente relacionadas a la energía que éstos consumen, sin embargo, debido a su progresiva reducción, la importancia de su huella de carbono aumenta proporcionalmente (Fig. 1). En un estudio realizado por Deloitte y dcarbon8 (2007) se calculó la huella de carbono de un edificio de oficinas, equivalente al 40% de las emisiones totales y aumentando hasta el 66% al considerar la decarbonización de la electricidad. Sin embargo, no hay normativa al respecto y su consideración durante la concepción y el desarrollo del proyecto arquitectónico es casi inexistente. A continuación, se evalúa la efectividad de varias estrategias de diseño en reducir el consumo energético de oficinas y su huella de carbono.

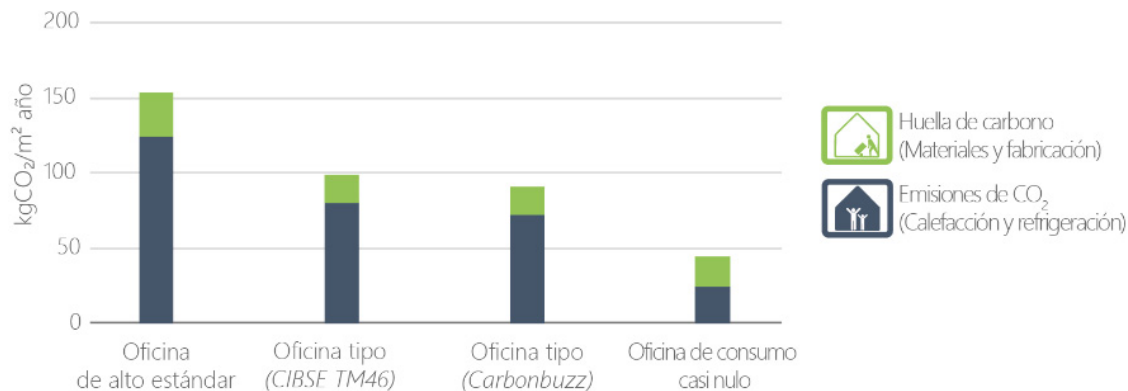


Figura 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> y huella de carbono de oficinas en el presente (no incluye decarbonización).

## METODOLOGÍA

La información sobre los casos de estudio se ha extraído de publicaciones, visitas a los edificios, correspondencia con los equipos técnicos, informes energéticos y simulaciones por ordenador. Se ha considerado un período de 60 años de operación sin contar la progresiva decarbonización de la electricidad. Las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a construcción y materiales se han calculado teniendo en cuenta desde la extracción de materias primas hasta que los productos abandonan la fábrica. Se han descontado el transporte por falta de datos, el CO<sub>2</sub> secuestrado en la madera y consideraciones sobre final de la vida útil de los edificios. Los factores de emisiones de CO<sub>2</sub> utilizados son: 0.194 kgCO<sub>2</sub>/kWh para calefacción por gas y 0.55 kgCO<sub>2</sub>/kWh para refrigeración eléctrica (Green Construction Board, 2013). Como valores referencia se ha utilizado la normativa británica de consumo energético y las publicaciones más recientes sobre la huella de carbono: WRAP (2016), Atkins (2010), Clark (2013) y Wolf (2015).

## CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio, cinco edificios de oficinas pioneros, definieron en el momento de su inauguración un nuevo estándar de sostenibilidad en sus respectivos países:

	Edificio Elisabeth Fry	Eawag Forum Chriesbag	Woodland Trust	WWF UK	Centro de empresas
Año	1995	2006	2010	2013	2016
Arquitecto	J. Miller & Partners	Bob Gysin+Partner	FCB Studios	Hopkins	Architype
Área (m2)	3170	11170	2730	3600	3400
Envolvente/área	0.92	0.45	1.23	1.56	1.54
Estructura	Hormigón	Hormigón	Madera contralaminada	Hormigón y madera laminada	Madera laminada
Transmitancia					
Ventanas	1.3	1.24	1.4	1.5	1.0
Muros	0.2	0.12	0.2	0.13	0.11

Tabla I. Casos de estudio.

### Edificio Elisabeth Fry – Norwich, Reino Unido

El edificio Elisabeth Fry (Fig. 2) fue concebido como modelo de eficiencia energética en el campus de la Universidad de East Anglia, aunque contaba con el presupuesto de un proyecto convencional. Inaugurado en 1995, acoge un programa mixto de oficinas individuales, aulas y salas de conferencias. La planta, de proporción rectangular alargada y orientada a sureste-noroeste, está dividida por un corredor central que da acceso a oficinas individuales a ambos lados. Acabado en enfoscado blanco sobre un zócalo de piedra, cabe destacar la estructura de placas alveolares de hormigón, que quedan expuestas en el interior.

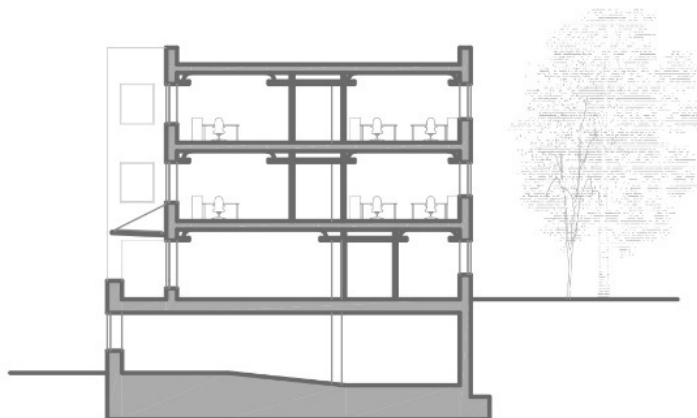


Figura 2. Edificio Elisabeth Fry.

#### Funcionamiento bioclimático

Durante el verano, una adecuada proporción de huecos y persianas venecianas controlan la ganancia solar. Se eligió una estrategia híbrida de ventilación debido a la compartimentación de la planta, lo que dificulta la ventilación cruzada. Además de ventanas operables, el edificio utiliza el sistema *Thermodeck*: el aire entrante se pre acondiciona al hacerlo circular por los alveolos del forjado antes de acceder a los espacios. De esta manera la inercia térmica de la estructura se utiliza al completo para amortiguar los picos de temperatura diurnos. En invierno, los huecos orientados a sur aumentan la ganancia solar, junto a un adecuado aislamiento, reducen el consumo energético a 31 kWh/m<sup>2</sup> para calefacción. El edificio no consume energía para refrigeración, más allá de los ventiladores que conducen el aire por los forjados.

### **Huella de carbono**

El equipo de proyecto no consideró la huella de carbono durante su desarrollo, que ha sido calculada por el autor con información publicada. La economía de sus materiales, su forma compacta y el reducido uso de acabados interiores resultan en 605 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> aproximadamente.

### **Eawag Forum Chriesbach – Zurich, Suiza**

Forum Chriesbag es el resultado de *un concepto visionario de sostenibilidad ecológica* que define las nuevas oficinas del Instituto Federal Suizo de Ciencia y Tecnología (Fig. 3). Situado en los alrededores de Zurich, marca el final de la avenida que le da acceso y determina el límite sureste del parque colindante. El edificio, de forma rectangular compacta, se organiza alrededor de un atrio que funciona como lugar de encuentro central. Su imagen exterior está definida por una segunda piel de lamas verticales translúcidas.

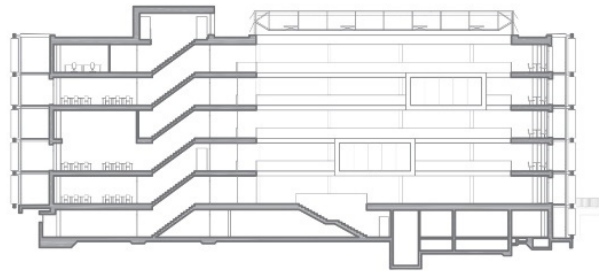


Figura 3. Eawag Forum Chriesbag.

### **Funcionamiento bioclimático**

Durante el verano se utiliza una estrategia híbrida de ventilación: ventanas operables combinadas con el efecto chimenea inducido por el atrio y tubos canadienses. La estructura de hormigón acumula el calor diurno, evacuado por la noche gracias a ventanas automatizadas. Además, para minimizar la ganancia solar, las protecciones solares pivotan siguiendo el movimiento solar. Durante el invierno, la posición de éstas se invierte maximizando la radiación incidente. La cubierta acristalada del atrio contribuye a calentar este espacio intersticial, reduciendo las pérdidas de calor desde espacios colindantes. La alta compactación del proyecto limita la pérdida de calor a través de la envolvente, resultando en un consumo de 14 kWh/m<sup>2</sup>año para calefacción. El consumo de refrigeración es prácticamente nulo, 1 kWh/m<sup>2</sup>año.

### **Huella de carbono**

El equipo de diseño consideró la huella de carbono del edificio desde la fase de concurso. Su forma, muy compacta, reduce notablemente el uso de materiales por m<sup>2</sup> de suelo. Además, se utilizó escoria de alto horno como sustitutivo parcial del cemento y las particiones interiores están construidas con madera, adobe y caña. La huella de carbono es de 569 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, calculada por el equipo redactor del proyecto.

### **Oficinas de Woodland Trust – Grantham, Reino Unido**

Woodland Trust definió sus futuras oficinas centrales como un edificio de alta calidad, pero de coste e impacto ambiental reducido (Fig.3). Situado en un centro de negocios, el edificio tiene forma de espiral ascendente desde la parte sur (de una planta), hasta la norte (de tres alturas). El acceso se efectúa a través del patio central, quedando las salas de reuniones en la zona sur, las oficinas en la norte, y los demás espacios no ocupados regularmente en la oeste. La estructura es de madera contralaminada (CLT) y el proyecto incorpora una estrategia de escritorio remoto, sólo monitores y periféricos se encuentran en la zona de oficinas.

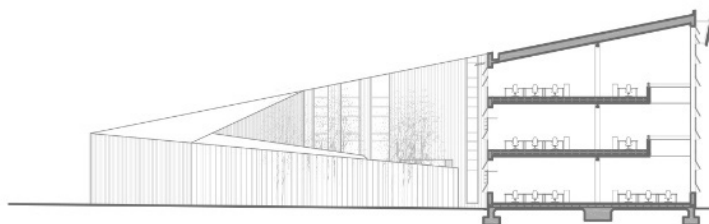


Figura 4. Oficinas de Woodland Trust.

### **Funcionamiento bioclimático**

En invierno, la forma del edificio permite el soleamiento de las oficinas. La ganancia solar y el elevado aislamiento reducen el consumo energético hasta los 23 kWh/m<sup>2</sup>año para calefacción. Durante el verano, se confía en ventilación natural cruzada potenciada por el efecto chimenea (generado por las aperturas en planta). Ventanas automatizadas permiten regular la ventilación nocturna y evacuar el calor acumulado durante el día. Para aumentar su inercia térmica y eficacia, se incorporan unos radiadores de hormigón en el techo. Los huecos orientados a sur tienen aleros, y un panel de madera en la parte superior del alzado norte garantiza el funcionamiento del efecto chimenea. Con un consumo anual de 5 kWh/m<sup>2</sup> para refrigeración, sólo la zona de servidores está acondicionada.

### **Huella de carbono**

El equipo de diseño se centró en reducir la huella de carbono del edificio a través de la especificación de materiales. Con una estructura de madera contralaminada, aislamiento de fibra vegetal, y fachada de madera únicamente el hormigón de los cimientos y los radiadores de los techos presentan un impacto ambiental notable. En total, la huella de carbono del edificio es de 307 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, calculada a partir de información publicada.

## **Oficinas de WWF UK – Woking, Reino Unido**

Las oficinas de WWF en Reino Unido (Fig.4), inauguradas en 2013, definieron una drástica reducción en consumo energético y huella de carbono ya desde el comienzo del proyecto. El edificio está formado por una plataforma de hormigón de dos niveles elevada sobre un antiguo aparcamiento preexistente, que debía ser conservado. Sobre ella se construye una cubierta abovedada de madera. WWF logró reducir el número de puestos de trabajo necesarios un 33% a través de una política de trabajo flexible, *hot desking*, aumentando notablemente la densidad de uso.

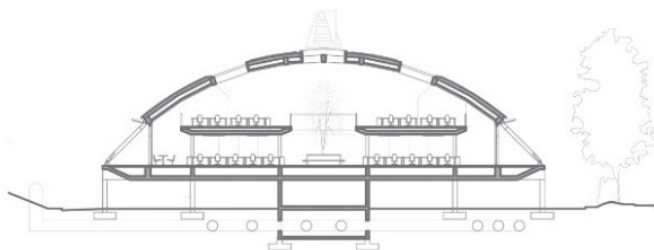


Figura 5. Oficinas de WWF UK.

### **Funcionamiento bioclimático**

La alta densidad de uso genera un elevado calor interno, lo que hace del verano el periodo más problemático. Todas las zonas acristaladas están protegidas del sol, incluyendo los lucernarios, cuya persiana tipo *roller* se opera automáticamente. En cuanto a ventilación, se aplica una estrategia de ventilación híbrida: tubos canadienses y ventanas operables accionadas por los usuarios. Éstas poseen un indicador que, cuando la temperatura exterior excede 27°C, se ilumina en rojo indicando el funcionamiento de los tubos canadienses. Tanto la plataforma de hormigón, como un material de cambio de fase integrado en los techos, dotan al edificio de inercia térmica para amortiguar picos de temperatura diurnos. Durante el invierno, los tubos canadienses y un sistema de recuperación de calor reducen el consumo de calefacción hasta 4 kWh/m<sup>2</sup>. El consumo de refrigeración es 12 kWh/m<sup>2</sup> al año.

### **Huella de carbono**

La huella de carbono está determinada por la forma del edificio, definida por las condiciones preexistentes del lugar. La estrategia de proyecto se centró en optimizar la elección de materiales y garantizar la deconstrucción al final de su vida útil. Se sustituyó un 50% del cemento (GGBFS) y un 31% de los áridos son reciclados. Además, se utilizaron madera y materiales con alto contenido reciclado para los acabados interiores. La construcción se pensó para ser deconstruida, quedando sólo una plataforma de hormigón multifuncional al final de su vida útil. La huella de carbono del proyecto es de 731 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, si bien su alta densidad de uso conlleva una mayor eficacia en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> por usuario.

## **Centro de Empresas – Norwich, Reino Unido**

El Centro de empresas de la Universidad de East Anglia se definió desde su concepción como un edificio ejemplar, respondiendo a la presión existente por el éxito de proyectos previos en el campus. Para ello el equipo técnico evaluó la huella de carbono y consumo energético en cada etapa del proyecto. El edificio, situado junto a la carretera que da acceso al campus, se resuelve con un patio central que distribuye dos alas principales a cada lado, orientadas norte-sur. Éste se completa con la pérgola que le da acceso por el este, quedando el invernadero de empresas en la zona norte y la zona académica en la sur.



Figura 6. Centro de Empresas.

### **Funcionamiento bioclimático**

Durante el invierno, una buena proporción de superficie de huecos (58%) en el alzado sur aumenta la ganancia solar mientras que, por otro lado, el alzado norte limita las aperturas (30%) para minimizar las pérdidas de calor. Exigido por el sistema Passivhaus, la estrategia de ventilación se centra en un sistema de recuperación de calor del aire extraído. En verano, las rejillas que extraen el aire durante el invierno se abren y permiten la ventilación a través de los lucernarios. Por motivos de seguridad, las ventanas exteriores son fijas y sólo una rejilla es operable, sobre las que se extiende unas grandes protecciones solares. La inercia térmica se confía a una capa de 7cm de hormigón en el forjado (la estructura completa es de madera). El consumo energético anual es de 8 kWh/m<sup>2</sup> para calefacción y 6 kWh/m<sup>2</sup> para refrigeración.

### **Huella de carbono**

El equipo de diseño realizó una amplia investigación sobre materiales naturales para reducir la huella de carbono. Éstos se utilizaron en numerosas partes del proyecto, desde su innovadora fachada de paja local a acabados internos

textiles, de caña o espuma de celulosa. Sólo la capa de hormigón del forjado y cimientos representan la mayor parte del impacto ambiental, pues el resto de la estructura es de madera. A pesar de tener un coeficiente de forma elevado, el extensivo uso de materiales naturales reduce significativamente la huella de carbono a 409 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una comparación de los resultados del apartado anterior con los estándares actuales permite evaluar la efectividad de las estrategias de reducción de CO<sub>2</sub> de los casos analizados, tanto durante su uso como su construcción (Fig. 6). El ahorro energético de los edificios se traduce en una reducción en sus emisiones de CO<sub>2</sub> comprendida entre el 55% y 75% comparado con la normativa británica. Por otro lado, la huella de carbono de todos ellos es inferior o comparable al límite inferior de los estándares (situados a la izquierda de la gráfica). La reducción en su huella de carbono es mayor o de un valor absoluto equiparable a la reducción de las emisiones asociadas a su operación (calefacción y refrigeración) con respecto a la normativa.

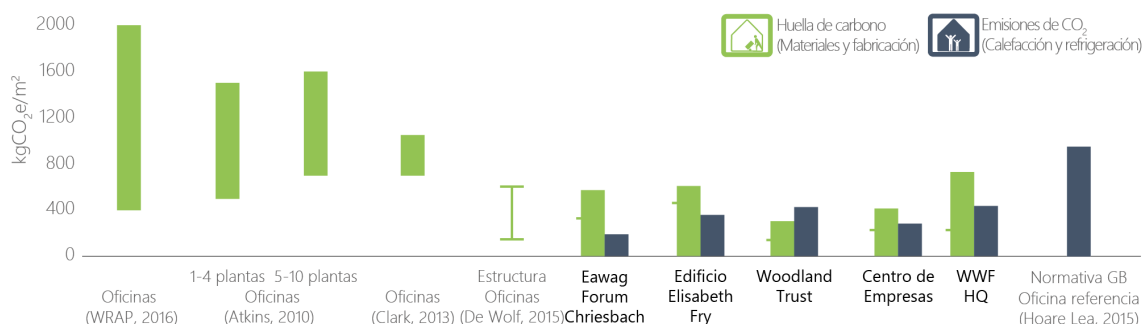


Figura 7. Emisiones de CO<sub>2</sub>: consumo energético y huella de carbono. Comparación con estándares.

Como conclusión, se observa que las estrategias de diseño introducidas durante la concepción y desarrollo de los proyectos tienen un impacto significativo en sus emisiones de CO<sub>2</sub> totales, reduciéndolas notablemente con respecto a los estándares. Debido al estado de normativas actuales y la tendencia futura de decarbonización energética, la huella de carbono de nuevos proyectos va adquiriendo una mayor importancia a la hora de diseñar nuevos edificios. Su consideración durante el proceso de diseño permite identificar y definir estrategias para la reducción de CO<sub>2</sub>, que de otra manera pasarían desapercibidas.

## REFERENCIAS

- Atkins, 2010, Masterplanning Tool
- Clark D., 2013, What colour is your building? Royal Institute of British Architects, London UK.
- De Wolf C., F. Yang, D. Cox, A. Charlson, A. S. Hattan, J. Ochsendorf, 2015, Material quantities and embodied carbon dioxide in structures. Engineering sustainability journal. Proceedings of the Institution of Civil Engineers.
- Deloitte, dcarbon8, 2007, Ropemaker Place Lifecycle Carbon Assessment – British Land. Ver: <http://www.britishland.com/~media/Files/B/British-Land-V2/press-release/2010/BL-Ropemaker-Carbon-Deloitte.pdf>
- El Khouli S., John V., Zeumer M., 2015, Sustainable Construction Techniques. From structural design to interior fit-out: Assessing and improving the environmental impact of buildings. Detail Green Books, Munich.
- Green Construction Board, 2013, The low carbon routemap for the built environment. UK Green Building Council. Ver <http://greenconstructionboard.org/index.php/resources/routemap>
- Hoare Lea, David Lock Associates, Gardiner & Theobald, 2015, Greater London Authority Non-Domestic Carbon Dioxide Emissions Target: Feasibility and viability study.
- Wrap, 2016, Green Building Council. Embodied Carbon Database. Ver: <http://ecdb.wrap.org.uk>

## ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA UN EECN EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO: EL AULARIO INDUVA DE VALLADOLID

**Francisco Valbuena García**, Arquitecto, Director Unidad Técnica de Arquitectura, Universidad de Valladolid  
**María Jesús González Díaz**, Dra. Arquitecta, Torre de Comares Arquitectos

**Resumen:** Un EECN requiere diversas estrategias, desde implantación en el solar hasta diseño y últimas decisiones de gestión. A su vez, la exploración de nuevas tácticas, sistemas, dispositivos y materiales corresponde a la propia función educativa e investigadora de un edificio universitario. Esto pretende el edificio IndUVA, alguno de cuyos retos, como conseguir máxima eficiencia en un edificio de alta ocupación con patrón discontinuo y variable, ya han sido presentados; junto con otras innovaciones (fachada tecnológica, sistemas pasivos y activos, dispositivos de incremento de iluminación natural, uso de materiales de cambio de fase, etc.), se han conseguido ahorros del 45% en consumo de refrigeración, 64% en iluminación y 57% en energía final.

**Palabras clave:** EECN, Aulario, Energía Casi Nula, Valladolid, Arquitectura Sostenible

### INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El aulario IndUVA, en el Campus Esgueva de la Universidad de Valladolid, forma parte de la reforma integral de la antigua Facultad de Ciencias para convertirse en la sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales, y reemplaza un aulario anterior. Este edificio es el único elemento demolido de todo el conjunto (los demás serán rehabilitados) por su disposición en graderío, que lo hacía ineficaz para los actuales modelos de docencia y aprendizaje, e inaccesible a personas con capacidades diferentes.

La forma de abordar el proyecto incluyó la experiencia previa de edificios e iniciativas realizados por la Universidad de Valladolid en el ámbito de la sostenibilidad, como la calefacción de distrito con biomasa y la investigación realizada en el edificio LUCIA (edificio 5 hojas VERDE y Platinum LEED). La primera lección aprendida de la experiencia del edificio LUCIA es la de la adaptación: algunas de sus estrategias se están repitiendo en el edificio IndUVA, otras se implementan y otras se mejoran, de acuerdo con las propias características, circunstancias y necesidades del nuevo edificio. Se ha realizado un especial hincapié en los elementos pasivos, considerando que son éstos una base fundamental para la consecución de un edificio EECN. (Fig. 1).



Figura 1. El edificio IndUVA en el campus Mergelina, en proyecto.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio de seis plantas y un pequeño sótano para instalaciones técnicas, alberga 34 aulas con diferentes capacidades (96, 60 y 40 alumnos) hasta alcanzar una ocupación en torno a los 2.500 alumnos. La superficie construida total del edificio es de 5.845,93 m<sup>2</sup> y el presupuesto de licitación de las obras fue de 5.780.000 € (IVA incluido). En la fecha actual (septiembre de 2017) se encuentra en avanzado estado de ejecución. Otra de las circunstancias fundamentales del edificio es su conexión a otros edificios universitarios, que debe realizarse de forma accesible y armónica, y el respeto y mantenimiento a su entorno más próximo, consistente en arbolado de gran presencia en la zona, y varios patios o jardines con diseño previo. Así, el edificio parte de su respeto a una ordenación del conjunto completo del campus y su adaptación a las mejores condiciones de funcionamiento del complejo universitario.

La experiencia de edificaciones sostenibles anteriores realizadas por la Universidad, y el diseño integrado permite la consecución de un edificio de consumo de energía casi nulo que puede servir de referencia en la exigencia de la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios en cuanto a que los Estados Miembros de la UE deberán tomar las medidas necesarias para garantizar que se establezcan unos requisitos mínimos de eficiencia energética, de tal forma que todos los edificios públicos construidos en Europa deberán ser de consumo de energía casi nulo; y que la Administración Pública debe dar ejemplo.

## MÉTODOS: UN DISEÑO BASADO EN CLIMA Y SISTEMAS PASIVOS

### Un acercamiento general apoyado en las características del solar

Para alcanzar el objetivo de un EECN, se ha realizado un extenso análisis del clima, de la parcela del edificio y de sus alrededores para aprovechar los recursos disponibles en el sitio, tales como energía solar, del terreno, la vegetación y el agua, lo que se refleja en todas las decisiones posteriores. Se contrarrestarán las cargas externas a través de soluciones de diseño pasivo, y las cargas internas (personas y equipos) a través de sofisticadas instalaciones de climatización y ventilación automática de alta eficiencia, iluminación de bajo consumo con sistema de gestión de la luz automático, etc., que maximizan aún más los ahorros de energía; incorporando de manera efectiva las tecnologías de energías renovables.

El diseño incorpora la utilización de materiales de construcción de baja toxicidad o “saludables” (sin formaldehidos añadidos o sin compuestos orgánicos volátiles -COV-) para minimizar la contaminación interior y evitar impactos adversos en la salud; se prescribe productos con declaraciones ambientales, materiales ecológicos, que incorporen un alto contenido de material reciclado, así como productos para la construcción de origen y de fabricación local; todo ello para generar un ambiente interior saludable, aumentando la calidad ambiental interior, mejorando el control y confort térmico y acústico, reduciendo al mínimo la huella ecológica del edificio. Se reduce el uso de agua potable mediante su manejo responsable reduciendo los caudales, reutilizando aguas grises y agua de lluvia; y también se reduce la generación de residuos tanto en la fase de construcción como durante todo el ciclo de vida del edificio.

### Sistemas Pasivos

**Compacidad:** El enfoque de diseño comienza reduciendo la demanda de energía a través de la envolvente del edificio. La forma muy compacta reduce la superficie en contacto con el exterior permitiendo minimizar las pérdidas y optimizar las ganancias solares. Del mismo modo, se reduce la exposición al viento por lo que la infiltración puede controlarse mejor.

**Orientación:** Al mantener la orientación de las fachadas establecidas en la ordenación general del conjunto, las aulas se colocan para que se abran mediante grandes ventanales hacia las fachadas noreste y suroeste. Para reducir las ganancias solares y evitar deslumbramientos se colocan parasoles verticales y paneles perforados (Fig. 2).

**Aislamiento:** Los coeficientes de transmisión térmica utilizados en la envolvente del edificio son más restrictivos que los exigidos por la normativa española CTE y por la americana ASHRAE. Los coeficientes de aislamientos utilizados, ( $U=0,16$  W/m<sup>2</sup>K en fachadas y  $U=0,15$  W/m<sup>2</sup>K en la cubierta vegetal) y las carpinterías de alto aislamiento y vidrio de baja emisividad y transmitancia cercana a  $U=1,10$  W/m<sup>2</sup> °C, junto con la eliminación de los puentes térmicos estructurales limitan las pérdidas por transmisión y por tanto reducen la demanda de calefacción en más del 90% y la



de refrigeración en un 85% según la simulación dinámica efectuada con el programa EnergyPlus, Versión 8.5.0. Debe ser también considerado en este apartado el efecto de la inercia térmica conseguido en la propia fachada y estructura del edificio (hormigón armado) y sobre todo con la cubierta, de tipo vegetal extensivo en más del 70% de su superficie.



Figura 2. Diseños diferentes para cada fachada: muro cortina y futuro muro fotovoltaico (Sept. 2017).

**Iluminación natural:** Los grandes ventanales incentivan la entrada de luz natural, que se incrementa aún más mediante parasoles horizontales que reflejan la luz exterior hacia el techo interior del aula aumentando la profundidad de entrada. Para reducir el uso de la iluminación eléctrica, las escaleras y núcleos de comunicación del aula con el edificio principal del complejo universitario están totalmente acristalados, aprovechando que por su situación y geometría este espacio estará sombreado la mayor parte del tiempo. En los pasillos interiores y en las aulas con poca iluminación natural, ésta se complementa con un sistema de introducción de luz natural mediante fibra óptica: el sistema Parans. Este sistema consiste en la captación de luz natural en la cubierta mediante captadores giróvagos y su transmisión a los puntos interiores mediante un cableado de fibra óptica. La fibra óptica, por su flexibilidad y poco calibre, permite ser introducida en canalizaciones de poco espesor y conducir luz natural a los puntos finales sin obstaculizar la estructura o la distribución general del edificio. La implementación de luz natural no se aconseja solamente por una cuestión económica y de reducción de la demanda eléctrica, sino que también supone mayor confort, mayor salud, y es además un interesante tema de investigación en un edificio cuya misión y cuyo promotor son precisamente los más comprometidos con ello. Estas estrategias combinadas con el sistema de control DALI de cada luminaria permiten la reducción del consumo de energía para iluminación en un 75%.

**Materiales de cambio de fase:** En este ámbito de investigación en edificación sostenible que anima toda la intervención, se ha incluido en el proyecto el uso de materiales de cambio de fase, en forma de paneles de composición mixta de yeso y microcápsulas de micronal, un sistema absolutamente innovador y aún sin aplicar en España, hasta donde se conoce. Se utilizará en dos aulas de disposición, orientación y capacidad similares a otras dos, de forma que se puedan establecer en el futuro comparaciones entre ellas para observar el comportamiento y las variaciones de temperatura en el interior, y obtener conclusiones sobre el uso de este sistema. Las aulas escogidas son aquellas que pueden ser las más sensibles al calor. Se presupone la intervención de este sistema en la atemperación del calor, puesto que el retraso en la onda térmica esperada disminuirá en algunos grados la temperatura interior tan sólo por el efecto de la variación de temperatura noche-día en el clima vallisoletano en los meses de junio, julio, y septiembre, cuyas altas temperaturas serán difíciles de combatir sin sistemas activos. No se incluye agosto en esta relación, porque en este mes se supone que no habrá clases, aunque como es lógico este sistema (que puede considerarse pasivo) seguirá realizando su función.

**Biodiversidad:** Por último, las cubiertas vegetales tipo sedum, que son resistentes a la sequía, proporcionan un aislamiento adicional, crea hábitats de vida silvestre, absorbe la contaminación atmosférica, extiende la vida útil de la

cubierta mediante la protección de la superficie de la luz UV, y elimina el efecto de isla de calor en el entorno. El intenso estudio que se prevé realizar para el mantenimiento, la rehabilitación y recuperación de a zona verde adyacente, el arbolado y los jardines, completan el hincapié realizado para la mejorar la biodiversidad del conjunto, que habrá de tener una fuerte influencia en el entorno próximo.

## ENERGÍAS RENOVABLES

**Integración arquitectónica de sistemas fotovoltaicos:** La fachada Sur-este, que es ciega para evitar ganancias térmicas, se aprovecha para sustituir el material de cierre de la fachada ventilada por un revestimiento de vidrio fotovoltaico que reduce el consumo de energía primaria no renovable en más de un 10% .

**Geotermia somera:** Se utiliza la geotermia somera como elemento de apoyo del sistema de ventilación y climatización del edificio, implementando el sistema ya comprobado en la experiencia anterior del edificio LUCIA. Este sistema consiste en la instalación de tubos geotérmicos (conocidos también como pozos canadienses o provenzales) que mediante el intercambio energético tierra-aire precientan o enfrían el aire, según las condiciones temperatura del aire exterior en cada momento, previamente a la entrada en el circuito. El equivalente energético de la aportación de este sistema es de 29.654 kWh anuales. Se reduce con ello el consumo de energía eléctrica para acondicionar el aire interior. (Fig. 3).



Calefacción	17.136,0	kWh
Refrigeración	12.518,3	kWh
<b>TOTALES</b>	<b>29.654,3</b>	<b>kWh</b>
	6,1	kWh/m <sup>2</sup>

Figura 3. Pozos geotérmicos en construcción y su energía aportada.

**Calefacción de distrito:** El edificio se conectará con la red de calor mediante biomasa de la propia Universidad, dentro de la apuesta por energías renovable locales, la reducción de CO<sub>2</sub> y el fomento por el desarrollo de sistemas que permitan la utilización de este recurso en condiciones de competencia con los combustibles fósiles.

## SISTEMAS ACTIVOS

En cuanto a los sistemas activos, dado que este tipo de edificios presentan ocupaciones discontinuas en el tiempo y variables en cuanto al número de ocupantes, todos se diseñan para proporcionar únicamente la energía que se demanda en cada momento para cada espacio en particular. Es sistema de trabajo de las estrategias de eficiencia energética de los sistemas ha sido ya extensamente tratado en la ponencia “Edificios inteligentes de alta ocupación con patrón discontinuo y variable: el aula IndUVA de la Universidad de Valladolid” (Valbuena & González, 2017).

## RESULTADOS

En la siguiente Tabla I se ofrecen los resultados de la simulación energética calculados mediante el modelo de Energyplus Versión 8.5.0 en la que se comparan los resultados obtenidos para el edificio de referencia según el CTE vigente y el edificio de referencia según los criterios ASHRAE para la certificación de sostenibilidad LEED, con relación al edificio proyectado.

Edificio de referencia CTE						
	Demanda	EF	Coef paso EP	EP no renv	Coef paso CO2	Emisiones CO2
	kWh	kWh	kWh/kWh	kWh	kgCO2/kWh	kgCO2
Calefacción	699170,17	998.814,5	1,179	1.177.602,3	0,311	310.631,3
Refrigeración	578237,07	340.139,5	1,954	664.632,5	0,331	112.586,2
Iluminación		107.614,9		210.279,5		35.620,5
Equipos misc		117.512,1		229.618,6		38.896,5
<b>TOTALES</b>		<b>1.564.081,0</b>	<b>kWh</b>	<b>2.282.132,9</b>	<b>kWh</b>	<b>497.734,5</b>
		<b>319,4</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>466,1</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>101,6</b>

Edificio de referencia LEED						
	Demanda	EF	Coef paso EP	EP no renv	Coef paso CO2	Emisiones CO2
	kWh	kWh	kWh/kWh	kWh	kgCO2/kWh	kgCO2
Calefacción		328.222,4	1,179	641.346,6	0,000	0,0
Refrigeración		71.478,2	1,954	139.668,3	0,331	23.659,3
Ventiladores		422.439,0		825.445,7		139.827,3
Iluminación		80.038,7		156.395,7		26.492,8
Bombas		60.580,4		118.374,0		20.052,1
Equipos misc		117.512,1		229.618,6		38.896,5
<b>TOTALES</b>		<b>1.080.270,7</b>	<b>kWh</b>	<b>2.110.848,9</b>	<b>kWh</b>	<b>248.928,0</b>
		<b>220,6</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>431,1</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>50,8</b>

Torre IndUva						
	Demanda	EF	Coef paso EP	EP no renv	Coef paso CO2	Emisiones CO2
	kWh	kWh	kWh/kWh	kWh	kgCO2/kWh	kgCO2
Calefacción		12.243,4	1,179	14.434,9	0	0,0
Refrigeración		56.338,1	1,954	110.084,5	0,331	18.647,9
Ventiladores		117.493,8		229.582,8		38.890,4
Iluminación		27.440,0		53.617,8		9.082,6
Recuperación		4.900,0		9.574,6		1.621,9
Bombas		1.492,4		2.916,1		494,0
Equipos misc		117.512,1		229.618,6		38.896,5
Generación FV		-24.438,7		-47.753,3		-8.089,2
<b>TOTALES</b>		<b>312.981,0</b>	<b>kWh</b>	<b>602.076,2</b>	<b>kWh</b>	<b>99.544,1</b>
		<b>63,9</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>123,0</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>20,3</b>

Tabla I. Resultados comparativos de la simulación energética.

Como se puede observar, con los criterios de diseño aplicados, el consumo de energía final (EF) del edificio proyectado es un 86% menor que aplicando los estándares actuales del CTE, (Tabla II):

Consumo de energía final (MWh/año)				
	Iluminación	HVAC	Total	
Edificio de referencia CTE	107,6	1.339,0	1.446,6	
Edificio de referencia LEED	80,0	822,1	902,2	38%
EDIFICIO PROYECTADO	1,5	218,4	195,5	86%

Tabla II. Resultados comparativos de Energía final en comparación.

En cuanto al uso de energía primaria no renovable, el resultado de 76,1 kWh/m<sup>2</sup> año es inferior a los valores de referencia numéricos [1] establecidos por la UE como indicadores del EECN (en este caso comparado con la referencia de uso de energía primaria para oficinas en la zona climática 1 o Mediterránea, de 80-90 kWh/m<sup>2</sup>año).

## CONCLUSIONES

Las estrategias para conseguir un edificio de energía casi nula (EECN) son, como ya se ha comprobado en experiencias anteriores, complejas y basadas ante todo en un detallado análisis del emplazamiento y el lugar en todos sus variados aspectos, incluidos los climáticos, sociales y funcionales, para conseguir resultados completos. La adaptación y la consideración de las preexistencias es la clave para un buen resultado, tanto en el aspecto de eficiencia energética y consumo casi nulo de energía como en los demás aspectos relacionados con el buen fin de un edificio. Las simulaciones realizadas hasta el momento ofrecen uso resultados muy positivos, si bien deberán ser comprobados tras la realización completa del edificio y su puesta en uso durante un tiempo. Su acierto como edificio sostenible se evaluará mediante la aplicación de herramientas de control de bajo impacto ambiental: LEED y VERDE, ambos de carácter voluntario, distintos en metodología de aplicación y en contenido, pero con objetivos asimilables; la consideración de marchamos de calidad sostenible.

## REFERENCIAS

- Valbuena & González, 2017. Edificios inteligentes de alta ocupación con patrón discontinuo y variable: el aulario IndUVA de la Universidad de Valladolid. III Congreso de Edificios Inteligentes. CEN. Madrid, 20 y 21 de junio de 2017

## Notas al final

- [1] Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión, de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo

# EXPLORACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE EDIFICIOS DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO USUALES EN EL ECUADOR

**Marina Pérez-Pérez**, Docente-investigadora titular, Universidad Tecnológica Indoamérica  
**Andrea Parra**, Docente-investigadora auxiliar asociada, Universidad Tecnológica Indoamérica

**Resumen:** Desde el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) del 2014, se ha reportado a las edificaciones responsables del 6.4% de emisiones directas y 12% indirectas. Datos en el que se reflexiona para la necesidad de una arquitectura diseñada con criterios sostenibles con criterios científicos, en sus diversas escalas. En el marco de las herramientas existentes para la proyección de un edificio sostenible, con bajo consumo energético, se desarrolla esta investigación, con un análisis sistemático de los últimos 10 años en cuanto a referencias bibliográficas y experiencia profesional. El caso de estudio es el Ecuador que, si bien tiene un plan de desarrollo nacional del buen vivir basado en el desarrollo sostenible, su legislación no incluye normativas de bajo consumo energético en la edificación.

**Palabras clave:** Diseño y Soluciones Arquitectónicas, Diseño Sostenible Bajo Consumo Energético

## INTRODUCCIÓN

Es imprescindible que la producción arquitectónica en todas las escalas, desde la urbana hasta el núcleo básico habitable, se conciba desde las etapas iniciales del diseño, proyecto definitivo y construcción con criterios para minimizar el impacto sobre el medio ambiente. Estos edificios se definen como edificios de consumo cero o nulo los cuales buscarán maximizar la eficiencia de los sistemas para lograr confort ambiental integral e incluir la generación de energía de fuentes renovables (Robert and Kummert, 2012). Un edificio NZEB por sus siglas en inglés *Net Zero Energy Building* no resulta de un diseño intuitivo sino que los requerimientos energéticos deben estar definidos desde la etapa de bocetaje inicial al igual que el análisis profundo del sitio, soleamiento y clima, es decir el arquitecto está forzado a expandir el alcance del proyecto más allá de la estética y la función (Attia, De Herde, 2012).

Existen diversas herramientas al alcance de los diseñadores para ser soporte en la proyección de un edificio sustentable desde el punto de vista energético. Nótese que los componentes sociales y económicos de la sustentabilidad están fuera del alcance de esta etapa de la investigación. El presente estudio busca evidenciar algunas de estas herramientas encontradas en el análisis sistemático de bibliografía y experiencia profesional de los autores.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de investigación va alineado a las acciones de la Nueva Agenda Urbana definida en la conferencia internacional de la ONU, Hábitat III, en la cual se sientan las bases para una vivienda digna y adecuada a través de promover una economía urbana sostenible e inclusiva, fomentando la sostenibilidad ambiental. De los 175 puntos que se han marcado en la Nueva Agenda Urbana se toman dos ejes para esta investigación, por un lado, tomar medidas para hacer frente al cambio climático mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y por el otro dotar de espacios habitables de acuerdo al desarrollo.

Las nuevas edificaciones diseñadas con miras en la reducción de los costos de la edificación y el consumo energético, han dado como resultado bajos niveles de confort en las edificaciones de obra nueva, lo que es conocido como un déficit cualitativo de viviendas. Déficit que afecta de igual manera a los asentamientos vulnerables y a los asentamientos socioeconómicos altos aun cuando se les dé una solución de acuerdo a su capacidad adquisitiva.

Siendo Ecuador, diverso y con variedad en climas, que en el mayor de los casos la variación de temperatura se presenta en el mismo día. De ahí que, si bien en el diseño de la arquitectura sostenible las estrategias pasivas son conocidas y determinante, no obstante, para el caso específico de la zona de estudio se desconocen que estrategias se consideran óptimas, en los parámetros del consumo energético de las edificaciones. La mayor causa es la falta de estudios previos, que es debido a la complejidad del estudio de los parámetros de un clima determinado.

La investigación busca definir criterios geométricos, para un bajo consumo energético y respetando el confort de los usuarios en edificaciones del Ecuador. Uno de los objetivos específicos es la identificación de las herramientas para el

diseño sostenible de bajo consumo energético, en el proceso de la recopilación de datos se cuenta con suficiente material para concluir que herramientas son las usuales y cuales no se les conoce.

## METODOLOGÍA

La investigación referente a las herramientas en principio se realizó una revisión de literatura existente, se eligieron dos criterios básicos: tipos de herramientas y niveles de aplicación dentro del proceso de diseño y construcción de un edificio. De acuerdo a esto se utilizó el buscador Google Scholar de las palabras clave “Net Zero Energy Building Design Tools”, “Comfort Analysis in Buildings”, “Building Performance Analysis Tools”, “Building Information Modelling”, “Post-occupancy evaluation”. La delimitación temporal abarca los últimos 10 años sin embargo se referencian herramientas manuales que han sido utilizadas desde los años 80s en el diseño bioclimático de edificios e incorporados a software contemporáneos. Adicionalmente se ha consultado los repositorios web de los software Autodesk, EnergyPlus y Climate Consultant.

Con la información desde diagramas de confort y soleamiento analógicos, programas computacionales para simulación energética de edificios, equipos de medición in situ terminando con encuestas de satisfacción para las etapas post ocupación, considerando la necesidad de encontrar un equilibrio entre lo simulado, el comportamiento medido del edificio y la percepción del usuario para lograr un edificio energéticamente eficiente que a su vez cumple con la función de mantener condiciones adecuadas para el desarrollo de las actividades diarias.

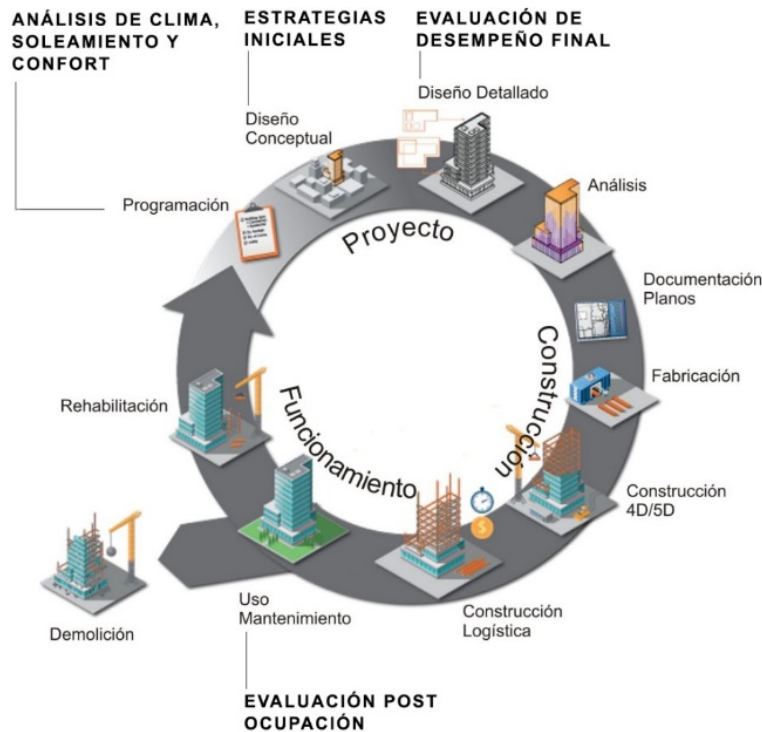


Figura 1. Etapas del diseño y construcción de edificios, propuesta de niveles de evaluación de desempeño ambiental. Adaptado de (Ruiz Lacasa and Ochoa Ayerdi, 2015).

## DESARROLLO

A partir de la crisis energética de los años 60's se impulsó el desarrollo de metodologías de diseño enfocadas en la evaluación de edificios desde la incidencia solar relacionada al confort térmico y por tanto al consumo de energía. Entre estas se encuentran técnicas experimentales para conocer la trayectoria del sol en laboratorio a través de

máquinas solares o heliodones; y el uso de sistemas numéricos matemáticos o gráficos en 2D o 3D, conocidos como cartas solares.

En este punto es importante mencionar que dicho nivel de actuación está relacionado al ciclo del diseño y construcción de un proyecto arquitectónico (Figura 1), para lo cual estas herramientas pueden ser más o menos precisas de acuerdo a la necesidad. Sin embargo, es en los principios del diseño donde el 20% de las decisiones del proyecto influenciarán el 80% del resultado final en el comportamiento del edificio (Attia, De Herde, 2012).

Un software de evaluación ambiental funciona a través de algoritmos de cálculo de balance térmico en intervalos definidos para así calcular la respuesta del sistema de calefacción, enfriamiento y cargas eléctricas. Algunos de estos software utilizan motores de simulación con código estructurado es decir con un input y output como documentos de texto, un ejemplo de esto es Energy Plus, eQuest, gbXML (Crawley, Hand Kummert and Griffith, 2008). Otro software adicionalmente incluye un espacio de visualización, modelado y definición de parámetros más amigable con el arquitecto que no está relacionado al lenguaje de códigos. Entre estos están Climate Consultant Software, Design Builder, Vasari y Autodesk Ecotect este último está discontinuado desde 2015 y sus herramientas están siendo incorporadas en Revit Architecture, entre los más utilizados por arquitectos según varios estudios realizados en contextos europeos hasta 2011. No se han encontrado este tipo de estudios para un contexto actual y local de tal manera que la valoración se ha realizado desde la experiencia en la academia y la práctica soportada por la revisión bibliográfica realizada.

En la primera etapa del diseño arquitectónico se requiere estudiar condiciones climáticas del lugar, a través del análisis de bases de datos meteorológicos que por lo general corresponden a 10 o más años de recolección en sitio, las bases de fuentes abiertas están disponibles desde 1960 a 1990 (Robert and Kummert, 2012). Para la visualización e interpretación de esta información se puede utilizar el software de acceso gratuito “Climate Consultant” de la Universidad de California - Energy Design Tools Group (University of California, 2017). Este visualizador permite analizar gráficamente elementos de clima comparados con escalas de confort térmico ASHRAE y California Energy Code Comfort Model 2013. Este puede leer cualquier archivo en formato EPW (EnergyPlus Weather), las principales ciudades del mundo están disponibles en la web del EnergyPlus de manera gratuita, como puede apreciarse en la figura 2 existen solamente 33 sitios en Sudamérica y en Ecuador 1 (U.S. Department of Energy, 2017). Adicionalmente presenta distintos tipos de cartas solares para el estudio gráfico del sol en cualquier latitud.

Similares son “Solar Analisis Tool” y “Weather Tool” de Autodesk Ecotect, en las nuevas herramientas de Revit Architecture y Vasari sin embargo estos programas son de pago y Ecotect tiene la última actualización en 2011 con lo cual se limita a la visualización y no se pueden guardar los datos para usuarios con licencia expirada.

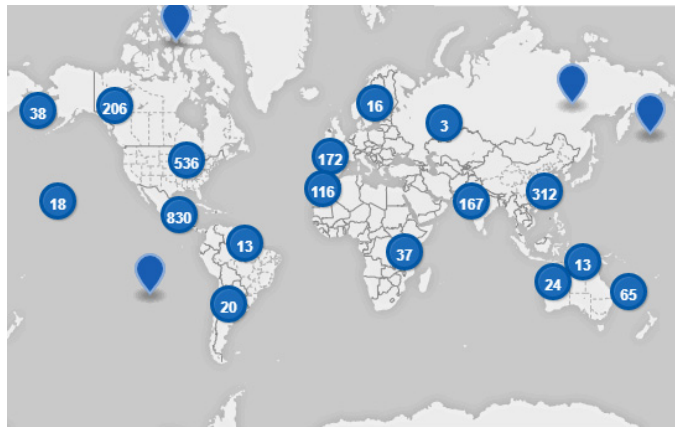


Figura 2. Ubicación de ciudades con bases de datos de EnergyPlus.

Posterior al análisis de clima y definición de necesidades para alcanzar el confort, el arquitecto deberá diseñar a detalle las estrategias para maximizar el aprovechamiento de recursos: orientación, implantación, control y ganancia solar, ventilación natural, definición de materiales de la envolvente y aberturas. Para etapas de diseño conceptual existe Ecotect Analysis, Revit Architecture, Vasari (Attia, De Herde, 2012). Ecotect presenta un entorno para realizar la

geometría, sin embargo, existen complicaciones en leer formatos pesados o importados de otros programas que no sean de Autodesk. Por esta razón se vuelve cada vez más importante el uso de programas de modelado e información de edificios BIM (Building Information Modeling), que permitan la combinación de los software de comportamiento ambiental BPA (Building Performance Analysis) con el objetivo de optimizar esfuerzos y recursos en el paso del diseño conceptual al anteproyecto. En este punto, muchas de las variables se determinan por defecto por el programa informático.

Algunos de los softwares mencionados, incorporan ya estos análisis como por ejemplo Revit Architecture que desde su versión 2015 incluye una extensión o plugin de diseño de iluminación natural el cual compara con estándares de certificación LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*).

La evaluación post-ocupación (POE) del edificio permite conocer su verdadero comportamiento generando así recomendaciones de mejoramiento de la calidad y operatividad del edificio. La POE tiene enfoques: cuantitativo y cualitativo. En primer lugar, la medición de parámetros de microclima interior usando instrumentos precisos para conseguir una base de datos comparable con los estándares de confort que fueron definidos en los estudios de diseño, y la cuantificación del consumo de energía y agua en el edificio (Göçer, Hua and K. Göçer, 2015). En segundo lugar es importante que simultáneamente a las mediciones empíricas se pueda generar un estudio de satisfacción y confort ambiental integral del usuario a través de cuestionarios diseñados y validados, considerando una muestra representativa que pueda valorar la percepción genérica e individual de las condiciones del edificio (Deuble and de Dear, 2014). Entre los métodos más utilizados está el "Building User Survey (BUS)" de Reino Unido.

## DISCUSIÓN

Una gran proporción de energía consumida en los edificios se utiliza en la fase operativa específicamente en climatización, iluminación y equipos eléctricos. De esta manera existen diversas variables que requieren considerarse en el diseño de un edificio NZEB y es justamente la interacción entre estas variables las que pueden generar un resultado más óptimo y cercano a la realidad (Attia, Hamdy, O'Brien and Carlucci, 2013):

- Análisis de clima
- Orientación y emplazamiento óptimo
- Forma y planta del edificio
- Geometría, posición y densidad de las aberturas
- Envoltante del edificio y materialidad
- Iluminación natural y control solar
- Estrategias de ventilación natural
- Forma y función de la estructura del edificio como fuente de calor
- Diseño del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)
- Confort térmico
- Generación energética y almacenamiento
- Sistemas de eficiencia en el uso del agua

Es imprescindible el conocimiento de la geometría solar y el clima del lugar donde se proyecta para lo cual se requieren herramientas simples y manuales como son las cartas solares, diagramas de confort y tablas de análisis de clima. Es importante mencionar en este punto que el estudio siempre dependerá de la disponibilidad de datos, los cuales en nuestro contexto son limitados al abarcar periodos iguales o menores a 10 años y contar con promedios en lugar de datos horarios necesarios para una investigación más profunda y para ser usados en los software que se han presentado.

Adicionalmente, es crucial entender que el clima está variando de manera drástica por causa del calentamiento global y la información que se tiene puede no ser completamente real para poder proyectar en el corto, mediano y largo plazo.

En las siguientes etapas del proyecto antes de la ocupación, se sugieren varios programas dependiendo la necesidad de detalle y disponibilidad de recursos para adquisición de licencias. Se ha mencionado la importancia de la integración de programas BIM y BPA, en donde Revit Architecture puede representar una buena opción para el nivel de diseño conceptual y anteproyecto realizados por el arquitecto. En etapas posteriores que requieran mayor detalle para



certificaciones energéticas o consultorías, se puede utilizar gbXML, que importa de manera indirecta la geometría del edificio.

Herramientas	Fase del proyecto		
	Diseño conceptual	Diseño detallado y certificación	Post Ocupación
Climate consultant	x		
Autodesk Ecotect	x		
Revit Architecture	x	x	
Desing builder	x	x	
Energy plus		x	
Medidores microclimaticos y contadores energéticos			x
Encuestas de satisfacción y confort			x

Tabla I. Resumen de herramientas recomendadas para las diversas etapas del proyecto arquitectónico. (Elaboración propia).

## CONCLUSIONES

Existen en el mercado local compañías que proveen los equipos y el servicio para el análisis de ambientes interiores, así como las universidades que están involucrados en la investigación y pueden ofrecer este servicio.

Finalmente, la satisfacción, salud y bienestar del usuario es el objetivo primario de la arquitectura por tanto se recomienda contrarrestar las mediciones cuantitativas con un análisis cualitativo en el cual se exprese la conformidad o inconformidad del cliente y con esto se pueda encontrar un equilibrio con la eficiencia energética.

Es imprescindible que se institucionalice las buenas prácticas para aprobación y control de todo proyecto en miras a disminuir los niveles de GEI que se emiten a la atmosfera y contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resultado del proyecto de investigación que se está realizando con el apoyo económico de la Universidad Tecnológica Indoamérica sin el cual no hubiera sido posible su desarrollo.

## REFERENCIAS

- Attia S., Hamdy M., O'Brien W., and Carlucci S., 2013, Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design, *Energy Build.*, vol. 60, pp. 110–124.
- Attia S. G. and A. De Herde, 2012, Early design simulation tools for net zero energy buildings: A comparison of ten tools," *Proc. Build. Simul. 2011 12th Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc.*, pp. 94–101.
- Crawley D. B., Hand J. W., Kummert M., and Griffith B. T., 2008, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Building*, vol. 43, pp. 661–673.
- Deuble M. P. and Dear R. J. de, 2014, Is it hot in here or is it just me? Validating the post-occupancy evaluation, *Intell. Build. Int.*, vol. 6, no. 2, pp. 112–134.
- Göçer Ö., Hua Y., and Göçer K., 2015, Completing the missing link in building design process: Enhancing post-occupancy evaluation method for effective feedback for building performance, *Build. Environ.*, vol. 89, pp. 14–27.
- IPCC, 2014, Climate Change: Synthesis Report, *Contrib. Work. Groups I, II III to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang. Core Writ. Team, Pachauri RK, Meyer LA IPCC, Geneva, Switzerland*, 151 p., pp. 1–112.
- Robert A. and Kummert M., 2012, Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past, *Build. Environ.*, vol. 55, pp. 150–158.
- Ruiz Lacasa F. and Ochoa Ayerdi M., 2015. Introducción al BIM Building Information Modelling.
- U.S. Department of Energy, 2017, Weather Data | EnergyPlus. [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- University of California, 2017, Energy Design Tools. [Online]. Available: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>. [Accessed: 01-Jul-2017].

# PERCEPCIÓN DEL CONFORT TÉRMICO Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CLIMA EN ECUADOR

**Marina Pérez-Pérez**, Docente-investigadora titular, Universidad Tecnológica Indoamérica  
**Andrea Parra**, Docente-investigadora auxiliar asociada, Universidad Tecnológica Indoamérica

**Resumen:** Confort térmico es la percepción del ambiente circundante por la piel y el intercambio de aire en los pulmones, logrado por procesos metabólicos que generan energía y variable por diversos factores. Diferencias de percepción dadas por factores intrínsecos como raza, sexo, edad, actividad metabólica, salud física y mental, características físicas y biológicas; e extrínsecos como arropamiento, temperatura, humedad, radiación, viento y niveles lumínicos. Los métodos para determinar el confort térmico son por estándares de balance térmico del cuerpo humano y experimentos en cámaras climatizadas en regiones de latitud media. La propuesta es de una investigación para definir criterios de diseño con bajo consumo energético en el Ecuador.

**Palabras clave:** Diseño y Soluciones Arquitectónicas, Confort Térmico, Criterios Sostenibles

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más significativos que afronta la humanidad hoy en día. La mitigación y adaptación al cambio climático supone una transformación para abordar aspectos de la vida cotidiana. De ahí que la actividad antropogénica sea uno de los principales contribuyentes a la generación de gases efecto invernadero (GEI) que lo ocasionan. Siendo que el clima tiene una incidencia directa tanto en la energía como en la salud del ser humano [1]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el confort está definido como la condición de la mente en que expresa total satisfacción con el ambiente [2].

Existen diferencias individuales de percepción y evaluación subjetiva del ambiente, que dependerá de diversos factores intrínsecos tales como raza, sexo, edad, actividad metabólica, salud física y mental, características físicas y biológicas, estado de ánimo, asociación de ideas y experiencia; así como extrínsecas entre las cuales se encuentran el grado de arropamiento, temperatura del aire, temperatura radiante, humedad, radiación, velocidad del viento, calidad del aire, niveles lumínicos y acústicos [3].

El ambiente interior incluye componentes térmicos, lumínicos, visuales, acústicos, calidad del aire, campos electromagnéticos y electricidad estática. No existe un solo índice que pueda cuantificar las respuestas individuales a todos estos factores [2]. La propuesta es el resultado de una investigación para definir criterios de diseño sostenible con bajo consumo energético, en específico los datos son del estudio se enfoca únicamente en el confort térmico.

El confort térmico es la percepción del ambiente circundante a través de la piel y por el intercambio de aire en los pulmones. El ser humano en condiciones de saludables, bajo cualquier situación climática, debe mantener una temperatura corporal de 36.5 a 37.5°C. Para lograrlo utiliza procesos metabólicos que generan energía [3]. Debido a que la percepción de confort térmico puede variar de persona a persona por los diferentes factores ya apuntados, los métodos para determinarlo son complejos [4]. La mayoría de estándares que definen el confort térmico están basados en ecuaciones de balance térmico del cuerpo humano y experimentos en cámaras climatizadas en regiones de latitud media [5].

## Descripción del proyecto

El proyecto de investigación va alineado a las acciones de la Nueva Agenda Urbana definida en la conferencia internacional de la ONU, Hábitat III. Una de las acciones a considerar está encaminada a aminorar el consumo de energías fósiles, cuidando el confort en los espacios habitables.

Las nuevas edificaciones diseñadas con miras en la reducción de los costos de la edificación y el consumo energético, han dado como resultado bajos niveles de confort en las edificaciones de obra nueva, se llama déficit cualitativo de viviendas. Déficit que afecta de igual manera a los asentamientos vulnerables y a los asentamientos socioeconómicos altos aun cuando se les dé una solución de acuerdo a su capacidad adquisitiva. En el segundo caso para alcanzar el confort se recurre al uso de equipos activos para el aire acondicionado y calefacción.

Considerando, the World Business Council for Sustainable Development (2009) que el 80% del gasto energético corresponde al consumo en las viviendas actuales, para un acondicionamiento confortable y retomando lo que apunta Al-Mofleh (2009), se definirán criterios de diseño con estrategias pasivas como una medida que permita mejorar el comportamiento energético de las edificaciones.

En este ámbito, el ahorro energético que se busca con los resultados del proyecto es significativo considerando los datos de International Energy Agency (2012) que el 30% del consumo eléctrico del Ecuador está en el sector residencial. Siendo que el último censo de construcción (2013) resultó que el 87.9% de los permisos de construcción otorgados a edificaciones residenciales, el 89.95% fue a edificaciones nuevas, siendo el 79% a viviendas unifamiliares.

El objetivo general es: Definir criterios de diseño en arquitectura sostenible de edificaciones de bajo consumo energético y confortable para la zona urbana en expansión de Ambato. Los objetivos específicos son: 1) Analizar las características térmicas medioambientales de la zona de estudio, determinantes de la habitabilidad y el confort de los espacios interiores con un bajo consumo energético, en las edificaciones de obra nueva. 2) Determinar la importancia de los datos ambientales para el diseño de edificaciones, en la zona en expansión urbana de Ambato. 3) Definir estrategias pasivas de diseño sostenible con bajo consumo energético en edificaciones de obra nueva de la zona de estudio. Objetivos planificados con el eje rector de la Sostenibilidad y directamente vinculados con el Plan Nacional del Buen Vivir del Ecuador, en el apartado 7. “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad, ambiental territorial y global”.

## Metodología

El proyecto está diseñado para trabajar en dos ejes y tres etapas, un eje de definición conceptual documental y el eje analítico. En ellos se definirán las tres etapas, estando el objetivo principal presente en cada fase. En la primera etapa, respondiendo al objetivo específico 1, se identifican, además de las acciones que se están llevando en condiciones semejantes a la zona de estudio, la zonificación climática del área de estudio de Ambato, para este fin se emplean datos de diferentes fuentes, medidos por equipos de investigadores y estimados mediante modelos matemáticos. Para la estimación del confort térmico se ha definido con los resultados de encuestas aplicadas a habitantes de Ambato, con más de 1 años de residencia ininterrumpida. La encuesta se ha, diseñado con la técnica de Likert, de 11 items, en dos grupos, con escalas de niveles variados.

La encuesta trata los temas de:

- Percepción de confort térmico anual
  - o Edad
  - o Sexo
  - o Sensación térmica
  - o Percepción del mes más frío al año
  - o Percepción del mes más cálido al año
- Adaptación al clima
  - o Métodos usuales para lograr el confort térmico en un día frío
  - o Métodos usuales para lograr el confort térmico en un día cálido
  - o Consideración de la calidad del aire para ventilar su vivienda/oficina
  - o Tipo de vestimenta al interior del edificio
  - o Comentarios adicionales sobre la percepción y métodos de adaptación al clima de Ecuador

## Resultados y datos obtenidos

El procedimiento para la estimación de la percepción de confort térmico se ha definido, en principio, con un análisis del clima de la zona de estudio, además se han utilizado instrumentos de medición y las técnicas de recolección de datos, para definir la percepción térmica, ha sido a través de una encuesta virtual a los habitantes de Ambato, con más de 1 años de residencia ininterrumpida, en la cual se les ha solicitado los métodos de adaptación al clima que aplican para lograr el confort térmico. En el campo legal de la sostenibilidad en la edificación, la legislación ecuatoriana ha dejado de lado detallar las normativas, en la Tabla 1 “Evolución histórica de la legislación de la construcción del Ecuador en materia de sostenibilidad” se observa la actividad legal del Ecuador especificando la sostenibilidad en la edificación.

<b>Arquitectura bioclimática</b>	<b>1992</b> Reglamento para el manejo de desechos sólidos. EMAC-EP	<b>2008</b> Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. CONELEC	<b>2009</b> Eficiencia energética para acondicionamiento de aire, uso doméstico.	<b>2011</b> Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, Ministerio de Desarrollo y Vivienda – Cámara de Construcción de Quito.
<b>Energías renovables</b>	<b>2007</b> Proyectos de Energía Eólica en Galápagos. CELEC	<b>2011</b> Regulación 004/11 CONELEC	<b>2013</b> Balance energético Nacional 2013” Ministerio Coordinador de Sectores estratégicos.	<b>2013</b> Codificación de la regulación No. 001/13 CONELEC
<b>Eficiencia energética</b>	<b>2009</b> Rendimiento térmico de colectores solares, sistema de calentamiento de agua para uso sanitario.	<b>2009</b> Eficiencia energética en edificaciones. Requisitos.	<b>2010</b> Certificación ecuatoriana ambiental “Punto verde”	<b>2013</b> Certificación ambiental. Sistema de Evaluación ambiental (SEA)
<b>Recursos sólidos urbanos</b>	<b>2003</b> Ordenanza gestión integral de desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca. EMAC-EP	<b>2013</b> Reglamento para el manejo de residuos y desechos de construcción.		

Tabla I. Evolución histórica de la legislación de la construcción del Ecuador en materia de sostenibilidad.

## CONCLUSIONES

Ecuador, es un territorio con diversidad y variedad de climas, en general la variación de temperatura se presenta en el mismo día. De ahí que, si bien en el diseño de la arquitectura sostenible las estrategias pasivas son conocidas, no obstante, para el caso específico de la zona de estudio se desconocen las estrategias óptimas, para el bajo consumo energético de las edificaciones. La mayor causa es la falta de estudios específicos, estudios bioclimáticos, con el fin de identificar el grado de confort y al final diseñar de acuerdo a las necesidades reales.

Las estrategias para garantizar el confort en las edificaciones construidas en los climas de la zona de estudio, se realizarán posterior a una validación experimental en dos modelos, un modelo real diseñado *ex profeso* con una geometría simple con proporciones áureas y un modelo virtual con características reales. Con las referencias de la base de datos simulados y los obtenidos por las medidas además de las estimaciones de la percepción térmica de los encuestados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo científico es uno de los resultados del proyecto de investigación “Definición de criterios de diseño para arquitectura sostenible de bajo consumo energético, en la zona de expansión urbana de Ambato (Ecuador)” que se está realizando con el apoyo económico de la Universidad Tecnológica Indoamérica sin el cual no hubiera sido posible su desarrollo.

## REFERENCIAS

- [1] Olgay V., 2010, Arquitectura y clima, 6th ed. Barcelona: GG.
- [2] The Chartered Institution of Building Services Engineers London, CIBSE Concise Handbook. Norwich: CIBSE Publications Department, 2008.
- [3] Fuentes Freixanet V. A., 1984, Arquitectura bioclimática, pp. 58–74.
- [4] Jones B. W., 2002, Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards, Energy Build., vol. 34, no. 6, pp. 653–659.
- [5] Brager G. S. and R. J. de Dear, 1998 Thermal adaptation in the built environment: a literature review, Energy Build., vol. 27, pp. 83–96.
- [6] Van Hoof J., 2008, Forty years of Fanger’s model of thermal comfort: comfort for all?

# LA EXPLORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO EFICIENTES COMO PARTE DEL DISEÑO INTEGRADOR EN UN EDIFICIO EECN EN LA CIUDAD DE LUGO

**Gerardo Rodríguez Vázquez**, Responsable del Área de Edificación Sostenible, EnergyLab  
**Diego Quiñoy Peña**, Técnico Investigador Área de Edificación Sostenible, EnergyLab  
**Soraya López García**, Arquitecta, Passiv Haus Institut

**Resumen:** La utilización de una metodología de diseño integradora, donde las diferentes partes que componen un proyecto constructivo estén alineadas es clave para la consecución del objetivo EECN. Decisiones tomadas en diferentes fases: desde el diseño hasta la construcción y operación, y en diferentes componentes y sub-sistemas tienen un impacto relevante sobre el consumo y la generación energética renovable del edificio proyectado, así como en el coste-eficiencia de las medidas a adoptar para conseguir un nivel EECN. En la presente comunicación se exploran la evaluación de estrategias de eficiencia energética aplicadas al diseño arquitectónico inicial del edificio IMPULSA VERDE, dentro del proyecto LIFE LUGO + BIODINÁMICO, donde se proyecta un edificio construido en madera estructural y de carácter pasivo en Lugo.

**Palabras clave:** EECN, Pre-diseño, Simulación Energética, Construcción Pasiva, Cambio Climático, Coste-Eficiencia

## ANTECEDENTES – PROYECTO LUGO + BIODINÁMICO

La metodología y actividades expuestas en la presente comunicación se enmarcan dentro de los trabajos de asesoramiento energético, que EnergyLab realiza dentro del proyecto LIFE LUGO + BIODINÁMICO.



Figura 1. Logotipo del proyecto Lugo + Biodinámico.

El proyecto LUGO + BIODINÁMICO trata de contribuir a desarrollar una estrategia de planificación urbana para lograr una adaptación efectiva al cambio climático a escala de vecindario o barrio residencial, visualizando el mismo no como una amenaza sino como una oportunidad para la mejora de la calidad de los espacios urbanos, considerando el cambio climático como “reto” y la necesidad creciente de regeneración de los ámbitos urbanos como su “contexto”.

Para ello establece un programa de actuaciones con una duración de 4,5 años que incluye un amplio abanico/mosaico de 28 acciones relacionadas entre sí que van desde el conocimiento del escenario climático de referencia, el marco analítico y la visión estratégica del emplazamiento, el catálogo de soluciones de diseño urbano, con el detalle de definición de las infraestructuras ecológicas del ámbito y la planificación detallada de zonas de confort climático residencial, hasta las acciones de silvicultura de frondosas autóctonas, cultivos energéticos en medio urbano, soto de castaños, recuperación y puesta en valor de un bosque de ribera y creación de un arboretum gallego. Dichas acciones se complementan con las de establecimiento de actuaciones de agricultura urbana de suelo y altura, adaptación de sistemas constructivos con materiales autóctonos de baja energía incorporada y diseño y ejecución de proyecto piloto “Impulso verde”.

## El proyecto piloto IMPULSO VERDE

El diseño y ejecución de Proyecto Piloto IMPULSO VERDE constituye un trabajo de investigación de la USC Campus Lugo, basado en el empleo de la madera local, con el fin del desarrollo de productos estructurales de madera, confort de altas prestaciones y valor estético, para favorecer la sustitución de los materiales que tienen un alto coste energético de uso habitual en la construcción actual. Para ello se pretende la incorporación de productos en el mercado que favorezcan y pongan en valor el aprovechamiento de la madera local, poniendo en funcionamiento las explotaciones forestales, e incrementando en consecuencia la absorción del CO<sub>2</sub>.



Figura 2. Especies frondosas autóctonas (Fuente: Lugo + Biodinámico).

Además, con la construcción del edificio de madera “IMPULSO VERDE” se pretende crear un referente de cambio en la lucha contra el Cambio Climático para la sociedad gallega, proponiendo un nuevo modelo constructivo de edificación en altura con estructura de madera gallega, respetuoso con el medio ambiente, actuando como Centro de Referencia en Formación y Divulgación en la Acción por el Clima. Este edificio supondrá una alternativa real y medible a las edificaciones convencionales altamente contaminantes y de baja eficiencia energética (basados fundamentalmente en las tecnologías de acero y de hormigón armado). Esta infraestructura se presenta como un hito construido anticipatorio del nuevo barrio multiecológico que se proyecta, para dotar de gran capacidad de “adaptación” y “resiliencia” a los entornos urbanos, por su capacidad de replicación y evolución en el tiempo.

**IMPULSO VERDE como Edificio de Consumo Casi Nulo**

El edificio IMPULSO VERDE se proyecta con criterios de eficiencia y sostenibilidad energética tipo Passive House, aunque de manera adicional se plantea el reto de alcanzar un nivel prestacional equivalente a un edificio EECN.

**EL DISEÑO INTEGRADOR EN UN PROYECTO EECN**

En el ámbito de la edificación sostenible, el diseño integrador, es un procedimiento en el que todas las variables que están interrelacionadas son consideradas de manera conjunta, con el objeto de conseguir una solución final óptima. Se trata pues de un procedimiento de diseño holístico en tanto que analiza al edificio en su conjunto, y pone especial énfasis en la integración de los diferentes aspectos del diseño edificatorio (Lewis 2009).

El diseño integrador se apoya de manera clave en una óptima comunicación entre los diferentes componentes del equipo de diseño y construcción, y parte del establecimiento claro y temprano de los objetivos prestacionales del proyecto; en este caso la consecución de niveles de consumo de un edificio EECN. La utilización de un método de diseño integrador es determinante, en el caso de los edificios EECN, donde se parte de una restricción energética muy exigente: obtener un muy bajo consumo de energía, que sea satisfecho en gran medida por energía renovable producida in situ.

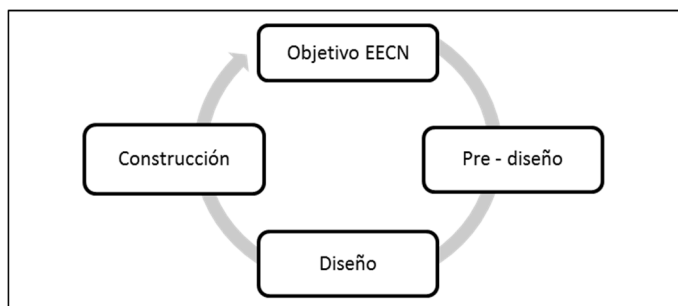


Figura 3. Fases de un diseño integrador.

Decisiones tomadas en las diferentes fases de proyecto (ver figura 3): desde el diseño, pasando por la construcción y la operación; y en diferentes componentes y subsistemas: arquitectura, ingeniería, equipamientos; pueden tener un

impacto relevante sobre el consumo energético final del edificio una vez terminado, así como en el coste-eficiencia de las medidas a adoptar para que el consumo de energía sea lo más reducido posible.

Dentro del procedimiento de diseño de un edificio EECN es recomendable llevar a cabo una fase exploratoria inicial o fase de pre-diseño, donde se analicen diferentes restricciones que afectan al proyecto EECN. Dentro de los puntos clave a incluir en esta fase están los siguientes:

- Establecimiento del objetivo EECN. ¿Cómo va a ser calculado y medido?
- Recopilar información climatológica y realizar un análisis climático del emplazamiento.
- Analizar el emplazamiento para identificar o limitaciones en cuanto al consumo energético.
- Calcular el consumo de energía base.
- Establecer un objetivo de consumo energético del edificio proyectado (kWh).
- Establecer un objetivo de producción energética renovable para el edificio (kWh).
- Realización de un modelo energético simplificado del edificio.
- Análisis de potenciales medidas de diseño pasivo y estrategias de eficiencia energética.
- Análisis de las interrelaciones entre las diferentes variables y el consumo energético: uso del edificio, ocupación, horarios, etc. y el consumo energético.

El resultado del análisis de las diferentes estrategias de diseño será determinante en la fase de diseño para que, junto con criterios de coste-eficiencia, así como atendiendo a otros requisitos o limitaciones del proyecto, sea factible alcanzar el objetivo EECN.

## **Análisis climático del emplazamiento**

Dentro del análisis climatológico del emplazamiento del proyecto es necesario recurrir a datos climáticos promedios para evaluar la severidad climática de las diferentes variables, que pueden tener impacto en el consumo energético y que tendrán que ser tenidos en cuenta en la fase de diseño (temperaturas medias, máximas y mínimas, humedades relativas, velocidad del viento, irradiancia media horizontal, etc.). De este modo podemos representar en el diagrama psicrométrico la distribución de las temperaturas exteriores y humedades relativas para el emplazamiento objeto y analizar posibles estrategias desde el punto de vista bioclimático – pasivo (figura 4).

En el caso de Lugo la temperatura media anual es de 11,5°C, correspondiéndose con una zona climática D1 (CTE DB HE), definiéndose por un invierno moderadamente severo y veranos suaves.

Dado que se toma como punto de partida el empleo del estándar de construcción pasivo, el edificio se caracterizará por unas muy bajas infiltraciones y por unos muy reducidos intercambios de calor por conducción a través de la envolvente térmica. Si bien estas premisas permiten lograr un bajo consumo de calefacción y unos altos estándares de confort en invierno, puede resultar de interés el análisis del comportamiento climático en verano, especialmente en lo que se refiere a fenómenos climáticos con temperaturas elevadas (fenómenos extremos y de baja ocurrencia). Esta tendencia está recogida dentro de los diferentes escenarios del cambio climático.

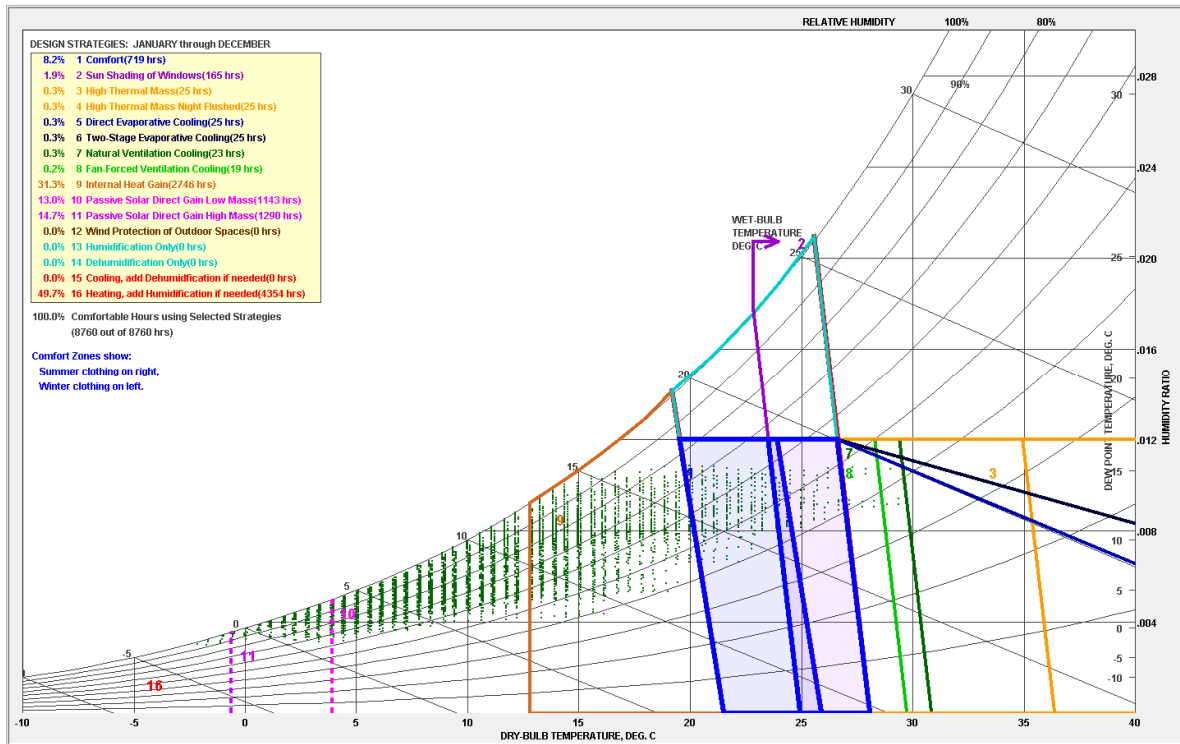


Figura 4. Diagrama psicrométrico de Lugo y estrategias bioclimáticas (Fuente: Climate Consultant v6.0).

Mediante el empleo de software específico (CCWorldweathergen) se puede generar un archivo climático que recoja diferentes escenarios para el cambio climático (Jentsch). A continuación se incluye el análisis gráfico de temperaturas de verano para el escenario A2 (intermedio).

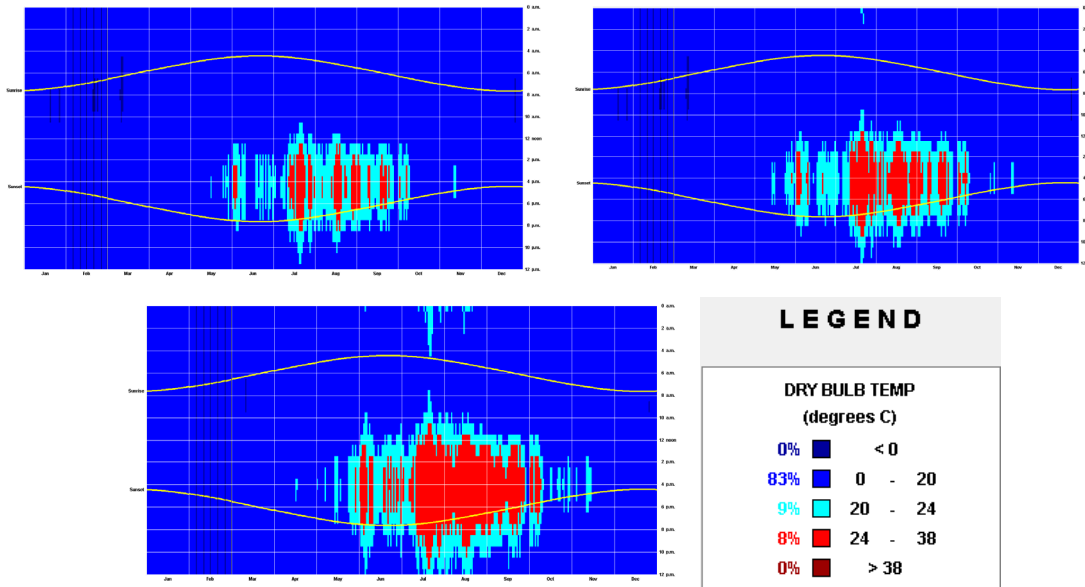


Figura 5. Evolución de las demandas de refrigeración según escenario A2 para Lugo actual, 2020 y 2050 (Fuente: ClimateConsultant v6.0, CCWorldWeatherGen, EnergyLab).



Resultado del análisis climático es que el confort climático en verano para un edificio de oficinas en Lugo deberá ser cuidadosamente tenido en cuenta en la fase de diseño para no incurrir en situaciones de desconfort.

## PRE-DISEÑO. FASE EXPLORATORIA

Dentro del proceso de la fase exploratoria inicial o fase de pre-diseño, se analizan diferentes restricciones a nivel de uso de energía, emplazamiento, recursos naturales, restricciones del diseño arquitectónico, materiales, climatología, confort final de los ocupantes, entre otras.

### Análisis de estrategias pasivas

Se han analizado mediante simulaciones energéticas (EnergyPlus), las implicaciones que tendrían la adopción de diferentes alternativas de diseño sobre el consumo energético final del edificio, y por ende, sobre la capacidad de generación de energía renovable necesaria para alcanzar un nivel EECN.

Entre otros análisis se han realizado los siguientes:

- Geometrías y compacidades
- Análisis de sombreadamientos de masas arboladas sobre el edificio y sobre las instalaciones de generación
- Análisis de iluminación natural
- Sistema de recuperación de calor
- Estrategias de ventilación natural que mitiguen los riesgos de desconfort climático en verano.

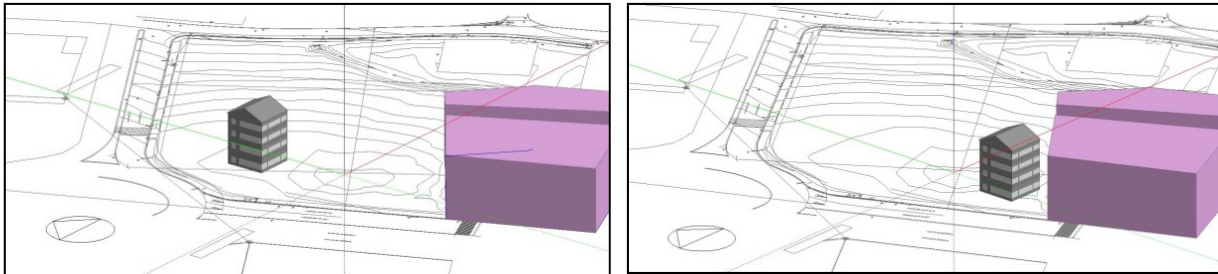


Figura 6. Modelo de simulación en función del emplazamiento del edificio con respecto de los sombreadamientos de la parcela (Fuente: EnergyLab).

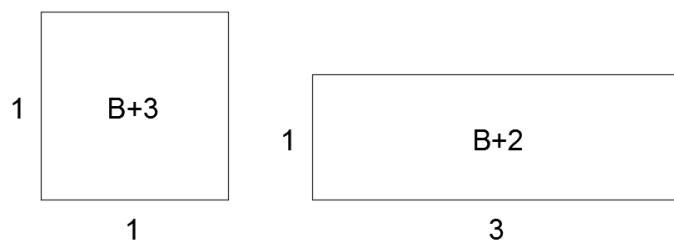


Figura 7. Análisis de diferentes tipos de huellas del edificio y su incidencia en la demanda de energía (Fuente: EnergyLab).

## RESULTADOS

Como resultado de la combinación de las diferentes medidas analizadas en la fase de pre-diseño se obtiene un conjunto de resultados (figura 8), que aportará información valiosa de cara a las fases de diseño y construcción del edificio Impulso Verde. Debido a las características climáticas de la zona donde se emplazará este edificio, las principales demandas energéticas serán las generadas por la iluminación y el sistema de calefacción. La libertad de la ubicación dentro de la parcela y los bajos coeficiente de transmisión térmica de la envolvente, recomiendan la utilización del aprovechamiento solar como fuente de calentamiento gratuito en invierno y que minimice al tiempo las necesidades de iluminación artificial.

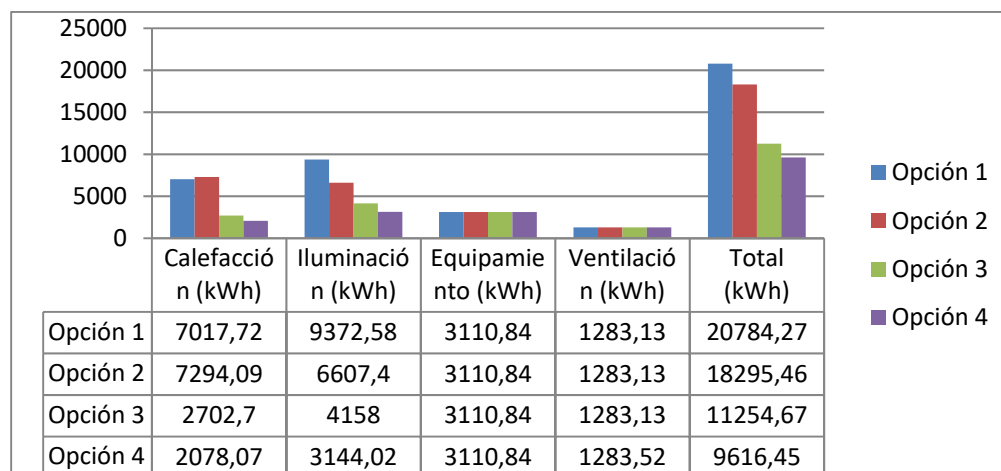


Figura 8. Comparativa resultados fase pre-diseño (Fuente: EnergyLab).

Como se ha comentado en el análisis climático de Lugo, las temperaturas de verano se incrementarán en el corto y medio plazo, según estimaciones del IPCC, lo cual combinándose con un edificio de uso de oficinas y por tanto de alta carga interna, puede desembocar en situaciones de desconfort climático si no es remediado en la fase de diseño. Estas situaciones podrían ser suavizadas o eliminadas mediante la implementación de estrategias inteligentes de ventilación natural, gracias a la gran variación que experimentan las temperaturas diurnas y nocturnas en Lugo, durante el periodo estival.

## CONCLUSIONES

En conclusión, la utilización de una fase inicial de prediseño exploratoria, que se apoye en la realización de simulaciones energéticas específicas, permite analizar un gran número de estrategias, que serán de mucha utilidad para la redacción del proyecto constructivo de un edificio EECN. En el caso de un proyecto EECN que utilice estrategias pasivas o bioclimáticas es recomendable, además, contemplar posibles escenarios de evolución de las temperaturas, en tanto que la vida útil de un edificio de oficinas supera con mucho el horizonte temporal de los escenarios ya disponibles.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al grupo de madera estructural de la USC (PEMADE) por las facilidades y la documentación aportada para la realización del presente artículo.

## REFERENCIAS

- <http://www.lugobiodinámico.eu> (septiembre 2017)
- Lewis, Malcolm. 2009, Integrated Design for Sustainable Buildings
- Jentsch M.F et al. 2013, Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates, Renewable Energy, Volume
- <http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/> (septiembre 2017)
- Milne et. al. 2009, Climate Consultant 4.0 Develops Design Guidelines for Each Unique Climate, American Solar Energy Society, Buffalo, New York, May  
<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php> (septiembre 2017)

## KEEP COOL AND CARRY ON: CLIMATIZACIÓN CON TECHO RADIANTE EN UNA OBRA DE REHABILITACIÓN ENERPHIT

**Oliver Style**, Consultor Passivhaus, Progetic  
**Vicenç Fulcarà**, Ingeniero Industrial, Progetic

**Resumen:** Se presenta un sistema de climatización con aire de renovación y techo radiante, instalado en un edificio plurifamiliar en el centro histórico de Girona, actualmente en proceso de certificación Passivhaus EnerPHit. El sistema consiste en una bomba de calor aire-agua como equipo de producción, un ventilador con recuperación de calor y batería de agua de post-tratamiento, y placas de techo radiante para aumentar la potencia de refrigeración del sistema y cubrir la carga térmica máxima en verano. La integración de los equipos y el control del sistema, se lleva a cabo con una centralita de domótica, sensores de temperatura y humedad por estancia, y elementos que actúan sobre la bomba de calor, los circuitos hidráulicos y el ventilador, dando información a distancia del comportamiento real del sistema, y permitiendo el ajuste de los parámetros de funcionamiento para optimizar su rendimiento. Esta solución ofrece calefacción y refrigeración con el mismo elemento terminal, trabajando de manera casi silenciosa y a baja temperatura, dando un alto confort térmico y un buen rendimiento trabajando con bomba de calor.

**Palabras clave:** Techo Radiante, Passivhaus, EnerPHit, Refrigeración, Deshumidificación, Ventilación de Doble Flujo, Bomba de Calor, Zehnder, Loxone

### INTRODUCCIÓN

Se trata de un edificio plurifamiliar de 6 plantas, en el centro histórico de Girona, que se encuentra en la fase final de obra y de certificación Passivhaus EnerPHit por demandas [Figura 1, Figura 2], al haber cumplido con los ensayos de blower door de  $N50 \leq 1,0$  ren/h. Esta promoción privada- la primera de su tipo en Cataluña- lanza 4 apartamentos de 129 m<sup>2</sup> y un dúplex de 162 m<sup>2</sup> al mercado. Por normativa patrimonial, se ha tenido que instalar el aislamiento por el interior, con una consecuente pérdida de inercia térmica. Garantizar, entonces, el confort térmico para los usuarios en verano es especialmente importante. La climatización con el aire de renovación permite una simplificación de las instalaciones térmicas y una reducción en su coste. Sin embargo, su potencia térmica se puede ver limitada bajo condiciones exteriores extremas en verano. Se presenta aquí, una solución para potenciar la climatización con el aire de renovación y hacer frente a las altas temperaturas en el periodo estival.



Figura 1. Imagen de la fachada, previa a la rehabilitación.



Figura 2. Imagen de la fachada, posterior a la rehabilitación.

Los datos del proyecto se muestran a continuación:

- **Clase de certificación:** Rehabilitación Passivhaus-EnerPHit por demandas
- Superficie útil / construida: 678 m<sup>2</sup> / 1.038 m<sup>2</sup>
- Promotor: MBD Real Estate Group
- Constructora: Busquets Sitja

- Arquitectos: Jordi Rodríguez-Roda i Layret - López-Pedrero-Roda Arquitectes
- Ingeniería de instalaciones: PGI Engineering
- PHPP, diseño Passivhaus y control/domótica: Oliver Style, Vicenç Fulcarà - Progetic
- Certificación Passivhaus: Micheel Wassouf - Energiehaus Arquitectos

## DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Al comienzo del proyecto, se plantearon 2 soluciones de climatización:

1. Climatización con el aire de renovación
2. Climatización con el aire de renovación + placas de techo radiante

Se optó por la segunda opción, ya que no se podía mantener la temperatura de confort en verano a  $\leq 25^{\circ}\text{C}$  climatizando únicamente con el aire de renovación. Añadiendo 19 m<sup>2</sup> de placas de techo radiante (apenas una cobertura del 15 % de la superficie del techo), se alcanzaba una cobertura del 100 % de las cargas térmicas máximas de verano, con condiciones exteriores de  $T_{\text{aire ext.}} = 34,1^{\circ}\text{C}$  (con  $H_{\text{especifica ext.}} = 10,5 \text{ g/kg.a.s.}$ ), según los valores calculados en proyecto [1].



Figura 3. Bomba de calor aire-agua monobloc.



Figura 4. Recuperador de calor entálpico.



Figura 5. Batería de agua & silenciador.



Figura 6. Placas de techo radiante.



Figura 7. Cuadro del sistema de control.

Para un apartamento tipo, el sistema consiste en los siguientes elementos:

- **Equipo de producción térmica:** bomba de calor monobloc aire-agua Daikin EWYQ005ADVP (5,20 kW frío / 5,65 kW calor) [Figura 3.]
- **Recuperador:** Zehnder ComfoAir550 entálpico [Figura 4.]
- **Batería de agua:** Zehnder ComfoPost CW10 [Figura 5]
- **Placas de techo radiante:** Zehnder NIC 150 & NIC 300 [Figura 6]
- **Sistema de control:**
  - o 1 sensor de temperatura & humedad por estancia
  - o 1 centralita mini server de Loxone [Figura 7.]
  - o Diversos elementos para controlar los circuitos de techo radiante, la temperatura de agua del clima / techo radiante, la válvula mezcladora y bomba de circulación del techo radiante, y la válvula de 3 vías de la batería de agua.

En modo calefacción, la bomba de calor genera agua caliente, circulándola por las placas de techo radiante a una temperatura de impulsión/retorno de 45 °C / 40 °C. Al mismo tiempo, la batería de agua calienta el aire de renovación para impulsarlo en las zonas secas a aproximadamente 40 °C. Se controla la velocidad del ventilador para evitar caudales excesivamente altos y una humedad relativa aire interior demasiado baja.

En modo refrigeración, la bomba de calor genera agua fría, circulándola por las placas de techo radiante a una temperatura de impulsión/retorno de 7 °C / 12 °C. Al mismo tiempo, la batería de agua enfría el aire de renovación, para impulsarlo en las zonas secas a aproximadamente 15 °C. La batería actúa de deshumificador en verano, para extraer agua del aire de impulsión y bajar la temperatura de rocío en la superficie de las placas de techo radiante, controlando de esta manera las condensaciones.

El recuperador entálpico ayuda a aumentar la humedad relativa del aire interior en invierno y el inverso en verano, mejorando el confort térmico y reduciendo la carga latente a la que se enfrenta la batería. Con el caudal de renovación estándar de 0,4/h (135 m<sup>3</sup>/h), las placas de techo radiante típicamente cubren tanto para calefacción como para refrigeración- aproximadamente 65 % de las necesidades térmicas. La batería y el sistema de renovación de aire cubre el 35 % restante. Un correcto control de un sistema de techo refrescante es imprescindible para evitar problemas de condensaciones superficiales. Para ello, se ha instalado un sensor de temperatura y humedad en cada una de las 5 estancias donde están las placas radiantes (comedor, cocina y 3 habitaciones). Los datos de temperatura y humedad permiten ajustar la temperatura del agua de las placas (actuando sobre la posición de la válvula mezcladora) para no tener condensaciones, sin tener que cerrar circuitos, evitando así ciclos de arranque-y-para de la bomba de calor, que resulta en un bajo rendimiento de la misma y una vida útil del compresor acortada.

Al mismo tiempo, se actúa sobre el ventilador, para bajar o subir el caudal en función de las necesidades térmicas, con una programación (ajustable por el usuario) que impide que el ventilador trabaje en “modo fiesta” durante las horas

de descanso. El control permite establecer diferentes temperaturas de consigna según horarios o según la ocupación, con el fin de obtener el máximo confort con el mínimo consumo de energía.

El sistema de ventilación funciona de forma automática con horarios pre-establecidos, con posibilidad de ajuste manual según el nivel de ocupación, o las necesidades de deshumidificación. La Tabla 1 resume su funcionamiento:

Velocidad	Condiciones
Baja	Vivienda desocupada / horario nocturno
Media	Horario diurno
Alta (“modo fiesta”)	Necesidades elevadas de deshumidificación Ocupación elevada de la vivienda (manual)

Tabla 1. Velocidades y funcionamiento de la ventilación.

El usuario puede controlar el sistema de climatización e visualizar datos de temperatura y humedad por zona, vía un Tablet fijado a pared dentro de la vivienda, o vía un teléfono móvil desde cualquier lugar. La aplicación se basa en un sistema de menús, rápidamente configurables y accesibles [Figura 8].

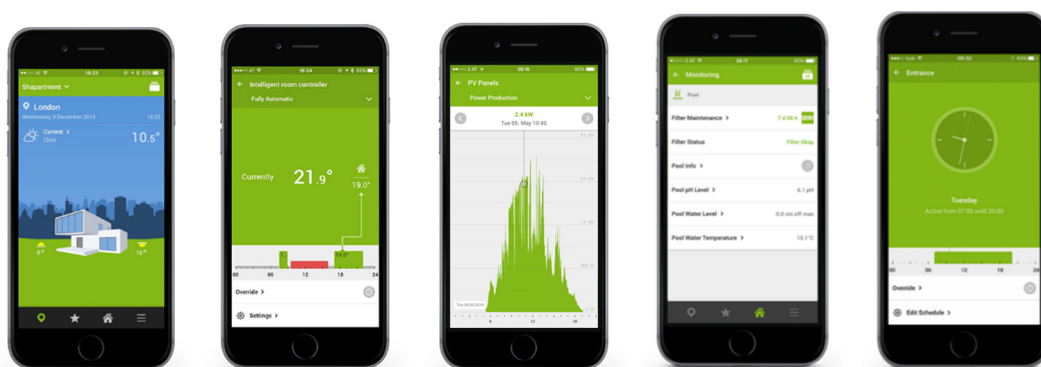


Figura 8. Menús de la aplicación del sistema de control.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La climatización con techo radiante ofrece una solución eficiente para aumentar la potencia de los sistemas de climatización con el aire de renovación en verano. Según las cargas térmicas del edificio, se puede dimensionar la cantidad de placas que haga falta por zona. Con las bajas cargas térmicas de edificios rehabilitados bajo el estándar Passivhaus, se puede llegar a coberturas de tan solo 15 % a 30 % de la superficie del techo, sin necesidad de elementos terminales como fan coils, que ocupan mucho espacio en falsos techos, siendo siempre un limitante en la rehabilitación.

El sistema de control presentado aquí, ofrece una solución flexible a un coste razonable, con un interfaz sencillo para el usuario. La posibilidad de visualizar y monitorizar datos reales a distancia y en tiempo real, facilita la optimización del sistema y el mantenimiento preventivo, permitiendo también, una mejora constante en el diseño, ejecución y operación. Al ser un sistema principalmente radiante de baja temperatura, da un mejor confort al usuario y una factura reducida en comparación con sistemas convectivos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a Jordi Rodríguez-Roda i Layret de López-Pedrero-Roda Arquitectes, Micheel Wassouf de Energiehaus, y Cristina, Eduard, y Albert de la empresa constructora Busquets Sitja.

## REFERENCIAS

- [1] PGI Engineering 2016, “CÀLCUL EXIGÈNCIES FRIGORÍFIQUES, CÀLCULS CLIMATITZACIÓ”. C/ Fontajau nº 42 baixos · 17007 GIRONA, Barcelona, 2016.

# TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN PARA LOS EECN EN LOS EDIFICIOS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN

**Alberto Jiménez**, Jefe Departamento Técnico, Formación y soporte, Baxi Calefacción  
**Héctor Noguera**, Jefe Departamento de Baxi Solutions, Baxi Calefacción

**Resumen:** El objetivo de esta comunicación es hacer un análisis sobre las tecnologías de climatización que se podrán incorporar a los Edificios de Consumo Casi Nulo de nueva construcción. Más allá de la definición de los EECN en términos de Energía Primaria, queremos intentar saber qué tipos de generadores (y emisores) de calor y frío se adaptarán a estos nuevos requerimientos. Para resolver esta cuestión hemos hecho un estudio basado en dos tipologías de viviendas (unifamiliar y multifamiliar). Situados en cuatro ciudades diferentes, que se corresponden con nuestras climatologías más habituales. Aplicando en cada uno de los ejemplos todo tipo de tecnologías (caldera de gas, aerotermia, energía solar térmica y PV, biomasa, etc.).

**Palabras clave:** Instalaciones de Climatización, Edificios de Consumo Casi Nulo, Energía Primaria, Eficiencia, Futuro de la Climatización, Obra Nueva, Visor EPBD

## INTRODUCCIÓN

¿Por qué cada vez se habla más de los edificios de consumo de energía casi nulo? Los EECN, edificios de consumo de energía casi nulo son más que una tendencia constructiva, son una apuesta firme por la sostenibilidad energética en un sector que representa un alto consumo de energía. En Europa, el consumo energético de los edificios representa un 40% del consumo de energía total, y un 75% de esta energía se produce a partir de combustibles fósiles, por lo que nos encontramos en un sector, el residencial, en el que urge tomar medidas de eficiencia energética que reduzcan el consumo de energía y el número de emisiones que generan.

Un edificio de consumo de energía casi nulo es aquel que tiene una demanda energética muy baja y consigue una alta eficiencia energética con poco o nulo consumo de energía. Y, ¿cómo lo consigue?

El objetivo de este estudio es precisamente es analizar las instalaciones de climatización que podrán utilizarse en los EECN. Intentaremos responder a la pregunta: ¿qué tecnologías de climatización encajan en el horizonte de los edificios de Consumo Casi Nulo?

## MÉTODO DE ANÁLISIS

Hemos utilizado las indicaciones del **Documento de bases para la modificación del Documento Básico DB-HE**, que el Ministerio público en Diciembre de 2016. Tal y como se indica en el documento los dos parámetros que definirán los EECN serán el Consumo de Energía Primaria Total ( $C_{EP}$ ) y el Consumo de Energía Primaria No Renovable ( $C_{EPNR}$ ) en el edificio. Estos dos factores vienen determinados en gran medida por:

- **Consumo de Energía Primaria Total ( $C_{EP}$ ):** Envoltente del edificio, control solar y control de infiltraciones de aire.
- **Consumo de Energía Primaria No Renovable ( $C_{EPNR}$ ):** Eficiencia de las instalaciones de climatización y ventilación.

Desde nuestro punto de vista la  $C_{EPNR}$  determinará las tecnologías más adecuadas para los sistemas de climatización. Si bien no determinará una única tecnología, sí que dejará fuera a alguna de ellas.

En el momento en el que hacemos este estudio, no hay todavía un valor límite para ninguno de estos parámetros. A falta de la publicación del nuevo CTE, prevista para 2018, hemos supuesto un valor límite de consumo de energía primaria para nuestros análisis. El valor concuerda con las últimas recomendaciones de la Comisión Europea y es un valor aceptado por agentes del sector consultados.

El valor límite que utilizaremos para sacar conclusiones será:

$$C_{EPNR} = 30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

Estudiaremos dos edificios diferentes. Una vivienda unifamiliar y un edificio de 16 viviendas. En 4 ubicaciones diferentes, que representan los climas más importantes de nuestro país. Madrid: Clima continental; A Coruña: Zona norte; Sevilla: Zona Sur, Barcelona: Clima Mediterráneo.



Figura 1. Tipología de viviendas del estudio.

Para todas estas combinaciones hemos hecho un cálculo mensual de la demanda de calefacción, refrigeración y ACS.

Con estos cálculos hemos utilizado el Visor EPBD (herramienta para el cálculo de Energía Primaria proporcionado por el Ministerio). En cada caso hemos introducido diferentes tecnologías y hemos obtenido los consumos de Energía Primaria con el visor.

Los datos se introducen los datos con un fichero CVS:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 0.89, 0.75, 0.58, 0.45, 0.19, 0, 0, 0, 0, 0.3, 0.66, 0.88 # CALEFACCIÓN BOMBA DE CALOR								
2									
3	MEDIOAMBIENTE, CONSUMO, EPB, 2.49, 2.09, 1.63, 1.26, 0.54, 0, 0, 0, 0, 0.84, 1.85, 2.45 # AEROTERMIA CALEFACCION								
4									
5	ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 0.55, 0.55, 0.53, 0.51, 0.49, 0.46, 0.43, 0.44, 0.46, 0.50, 0.53, 0.55 # ACS								
6									
7	MEDIOAMBIENTE, CONSUMO, EPB, 1.55, 1.55, 1.49, 1.43, 1.37, 1.28, 1.19, 1.22, 1.28, 1.40, 1.49, 1.55 # AEROTERMIA ACS								
8									
9	ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754, 0.754 # VENTILADOR								
10									
11	ELECTRICIDAD, CONSUMO, EPB, 0, 0, 0, 0, 1.55, 1.75, 1.54, 1.55, 0, 0, 0 # AIRE ACONDICIONADO								
12									

Figura 2. Fichero cvs de entrada de datos.



Y se activa inmediatamente la herramienta:

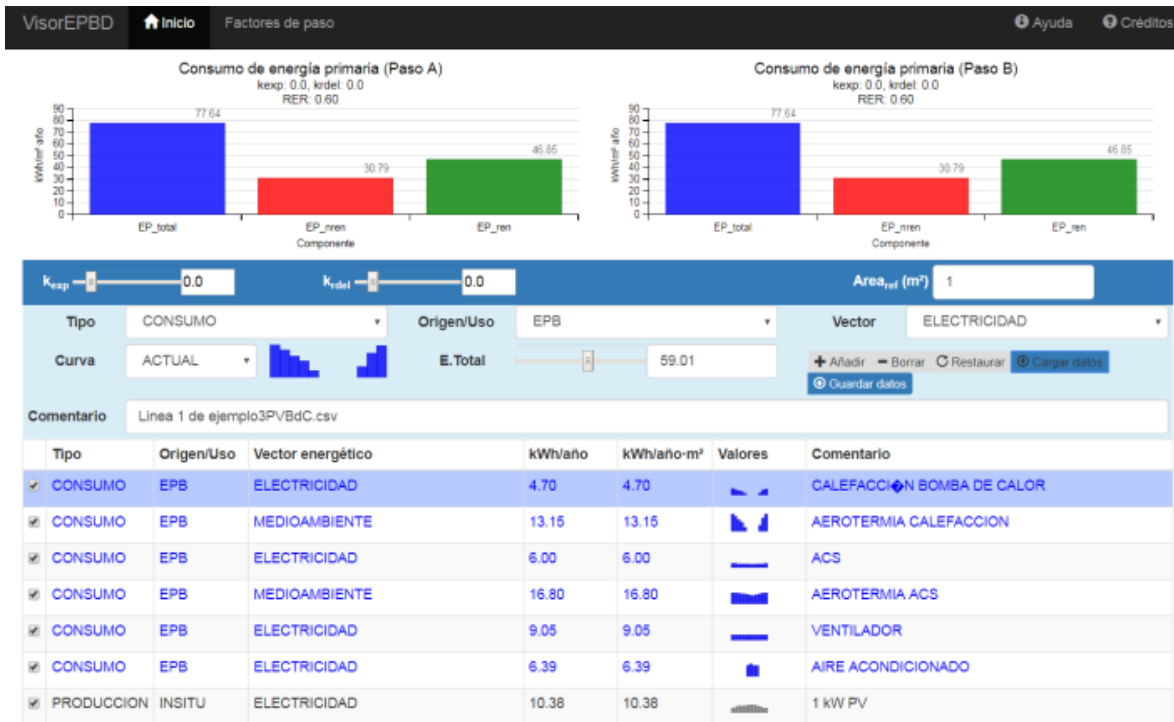


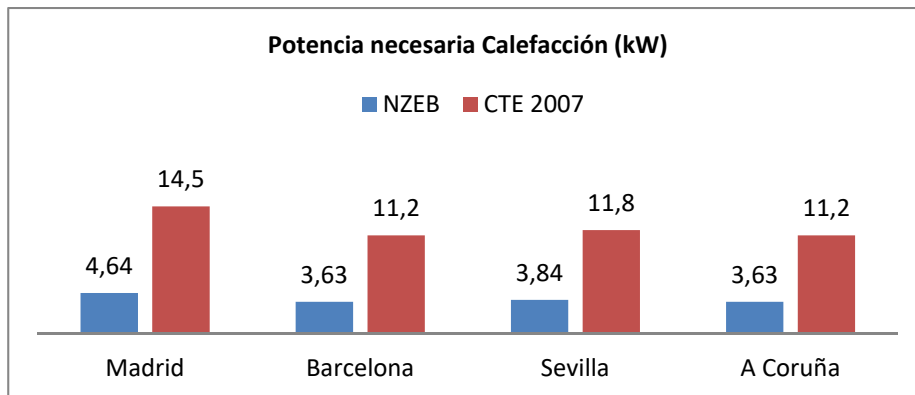
Figura 3. Visor EPBD-[www.codigotecnico.org/visorepbd](http://www.codigotecnico.org/visorepbd).

## RESULTADO DEL ANÁLISIS

Una vez realizados todos los estudios, los resultados arrojan resultados sorprendentes. Estos son los más importantes desde nuestro punto de vista.

### Potencia instalada

Era de esperar que la potencia necesaria para calentar un EECN fuera inferior a la de los edificios actuales. Nuestra sorpresa es que en algunos casos la diferencia puede ser muy importante. En algunos casos puede ser una tercera parte de la potencia que se instalaba según el CTE del 2007.

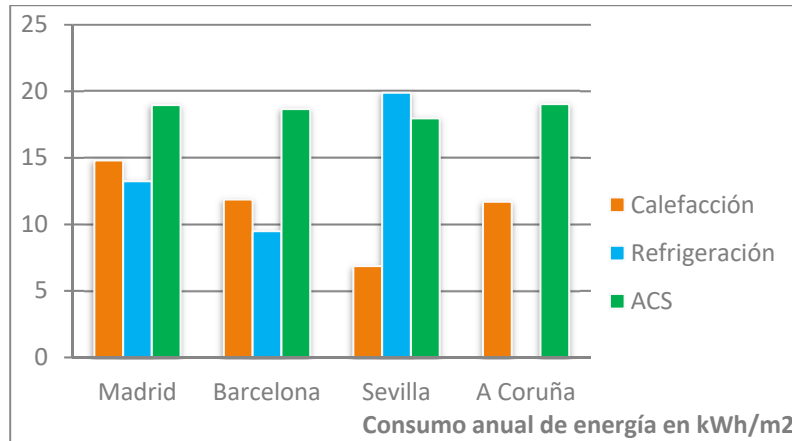


Gráfica 1. Potencia necesaria calefacción para Unifamiliar del estudio.

## Consumo principal

Hasta ahora, el consumo energético más importante en las viviendas era el de calefacción. Al mejorar tanto los aislamientos de las viviendas y evitar al máximo las filtraciones de aire, se producen dos consecuencias muy relevantes:

- El ACS será el consumo principal en la mayoría de las regiones.
- Será necesaria la refrigeración de las viviendas en casi todo el país.



Gráfica 2. Consumo energético de la vivienda por servicio.

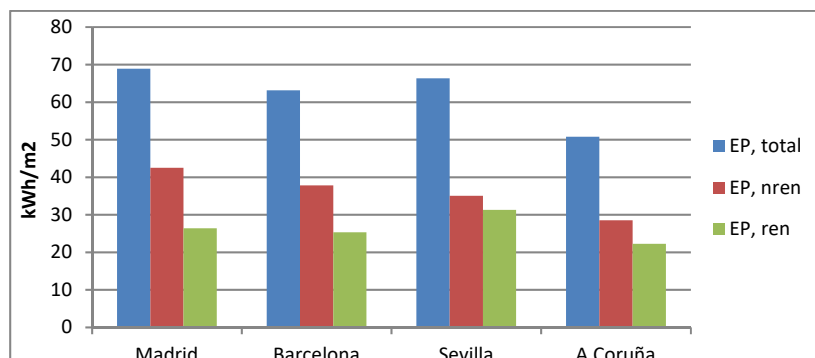
## Caldera de gas

Uno de los equipos de calefacción más utilizados hasta ahora en los edificios de nueva construcción ha sido la caldera de gas.

Del estudio de las instalaciones según esta metodología se desprende que la caldera de gas deberá siempre ir acompañada de mucha energía renovable para poder bajar del umbral de los 30 kWh/m<sup>2</sup>.a que nos hemos marcado.

- En las zonas donde no es necesaria la refrigeración, sí se pueden instalar en viviendas unifamiliares acompañadas de renovables.
- En el resto de zonas difícilmente cumplirá.

Si el valor límite exigido finalmente por la reglamentación es superior a estos 30 kWh/m<sup>2</sup>.a, entonces la combinación de caldera de gas natural y aire acondicionado, con la inclusión de renovables, sobre todo para el calentamiento de agua caliente sanitaria, sí podrá ser una buena opción.



Gráfica 3. Unifamiliar: Instalación caldera gas + AA (excepto en A Coruña) + 2 Sol 200 + 1 kW de PV.

## Aeroterminia

Sin duda, uno de los resultados más importantes de este estudio apunta a que esta tecnología será muy importante en el futuro de los edificios de nueva construcción bajo las directrices de los EECN.

Por ejemplo, en el caso de la vivienda unifamiliar, utilizando aeroterminia y dos combinaciones de Energía renovable (2 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos y 1 kW de fotovoltaica / 1,5 kW de fotovoltaica). Podemos observar como en todos los casos cumple con el límite que nos hemos puesto.

	EST(2 m <sup>2</sup> ) + PV (1 kW)			PV (1,5 kW)		
	EPtotal	EPnren	EPren	EPtotal	EPnren	EPren
Madrid	69,88	23,62	46,26	70,58	20,64	49,93
Barcelona	64,07	21,49	42,58	64,49	18,36	46,14
Sevilla	62,50	23,71	38,79	63,88	21,37	42,51
A Coruña	51,50	11,01	40,48	53,21	8,91	44,30

Tabla I. Vivienda unifamiliar del estudio.

## Biomasa

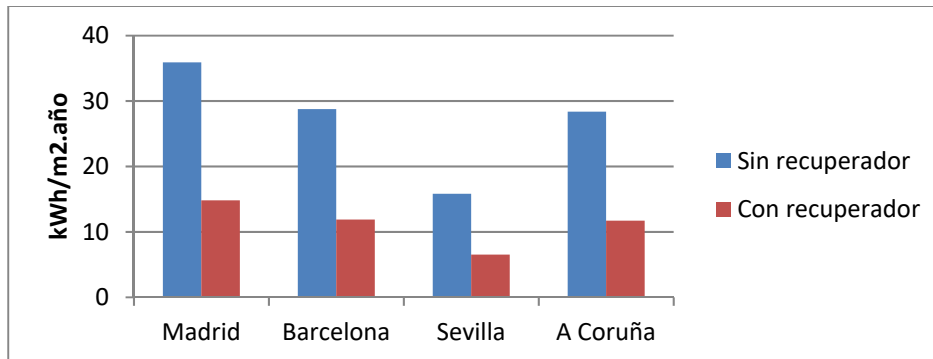
Como es lógico la biomasa al tener la consideración de energía renovable, no tiene problemas en cumplir con el límite sobre consumo de energía primaria no renovable. El problema es que con este combustible sólo podemos abastecer el servicio de calefacción, si es necesaria la refrigeración, las bombas de calor aerotérmicas serán una opción más razonable.

	Sin Energía Solar		
	EPtotal	EPnren	EPren
A Coruña	<b>68,81</b>	<b>19,23</b>	<b>49,57</b>

Tabla II. Vivienda unifamiliar del estudio.

## Ventilación

Nos ha llamado la atención la importancia pueden llegar a tener las pérdidas por la ventilación de la vivienda. El uso de recuperadores de calor en los sistemas de ventilación reduce mucho la energía consumida del edificio.



Gráfica 4. Consumo de energía total del edificio.

## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Los edificios ECCN no tienen por qué ser iguales, pero suelen tener características en común:

- Para reducir su demanda energética los edificios tendrán importantes aislamientos y se equiparán con ventilación forzada. Este aspecto reduce la demanda energética del edificio y permite confort interior y calidad del aire. Lo que nos lleva al siguiente punto:
- La ventilación, la calidad del aire y el control de la humedad serán retos importantes en la nueva edificación.

- Todos los sistemas de climatización deberán tener la máxima eficiencia energética.
- Edificios eficientes son sinónimo de edificios inteligentes. La conectividad de todos los sistemas permitirá un control global del edificio.
- Los edificios incorporarán todo tipo de energías renovables: Energía Solar Térmica, Fotovoltaica, Aerotermia y Biomasa.

Por supuesto, todas estas conclusiones y análisis dependen de los valores límite que finalmente se publiquen en el nuevo DB-HE. Si el valor que finalmente es aprobado para el límite de  $C_{EPNR}$  es superior al que hemos considerado, todas estas conclusiones serán excesivas. Pero en caso de que sea un valor inferior, los resultados de un estudio como este limitarían aún más las tecnologías disponibles para los edificios de nueva construcción.

## REFERENCIAS

- Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE (Ministerio de Fomento)
- Visor EPBD (IETcc-CSIC)
- Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética con la herramienta VisorEPBD (Ministerio de Fomento)

## AHORRO EN COSTES DE CLIMATIZACIÓN MEDIANTE PINTURA TERMO-AISLANTE PARA CUBIERTAS

Joan Ferré Sáinz de la Maza, Socio Cofundador, Nanoavant

**Resumen:** La aplicación de pintura termo-aislante en la construcción y rehabilitación de edificios, supone una importante mejora de la eficiencia energética de los edificios. Se trata de un revestimiento desarrollado a partir de la Nanotecnología, que consiste en una pintura elastomérica con base acuosa que contiene micro-esferas de cerámica y otros componentes nanoestructurados como el Dióxido de Titanio, Dióxido de Silicio y Dióxido de Zinc. Esta pintura posee propiedades termo-reflectantes e hidrofugantes, además de tener una alta emisividad. El principal objetivo es reducir la incidencia de la radiación infrarroja del sol donde mayor afectación térmica tiene, en las cubiertas de los edificios y otras construcciones. Y también consigue bloquear las micro-grietas que suponen fugas térmicas. Además de eliminar la presencia de humedad para mejorar la resistencia térmica del bloque constructivo. Aplicable en toda clase de cubiertas de obra, bituminosas o metálicas. Su aplicación mediante pistola airless reduce el tiempo y en consecuencia el coste total, comparado con otros sistemas de aislamiento tradicionales. Además, se trata de una solución complementaria a otras medidas de aislamiento térmico y aplicable a posteriori en cualquier cubierta como revestimiento final.

**Palabras clave:** Pintura Termo-Aislante, Ahorro en Climatización, Confort Térmico, Aislamiento Térmico, Eficiencia Energética

### INTRODUCCIÓN

En España el parque residencial está compuesto por viviendas que fueron construidas antes de la primera normativa de eficiencia energética, hecho que supone que el aislamiento térmico sea casi inexistente. En los países del entorno europeo la tasa de rehabilitación está en el 40%, mientras que en España se sitúa en el 24%, según datos de la Secretaría de Estado de Vivienda.

La aplicación de pintura termo-reflectantes en las cubiertas de edificaciones existentes supone una reducción de la temperatura exterior del elemento constructivo de un 40%, que consecuentemente significará un menor flujo térmico hacia el interior de la construcción, que mejorará notablemente el confort térmico y en su caso, reducirá los costes de climatización.

Los beneficios de la utilización de esta tecnología son el ahorro de costes de energía, mejora del confort térmico y menor generación de CO<sub>2</sub>.

Esta medida es ideal para aplicar en construcciones existentes por su facilidad y rapidez de aplicación, sin necesidad de realizar obras.

Aportando una mejora de la eficiencia energética a un coste menor que con otros sistemas de aislamiento tradicionales. De manera que está al alcance de todos los estratos sociales, ya sea mediante financiación privada o a través de ayudas estatales para la rehabilitación de zonas con pocos recursos económicos.

Existen otras medidas para mejorar la envolvente térmica de construcciones, como la instalación de materiales como la lana de roca, poliestireno expandido, sistemas SATE, etc. Son sistemas efectivos debido a sus características físicas (grosor, composición, etc), pero suponen la realización de obras y a veces no son compatibles con algunas edificaciones por inexistencia de espacio suficiente para su implementación, limitaciones de comunidades de vecinos, coste elevado de permisos y ejecución, elevado coste del material aislante, etc.

La mayoría de estos sistemas tradicionales se pueden complementar con el revestimiento termo-reflectante, mejorando en definitiva la reducción de la transmitancia térmica de todos los elementos constructivos.

Sistema certificado en base a la normativa de edificación UNI EN 1934:2000 y certificado según organismos como el European Cool Roof Council.

## EL PROYECTO

### Aplicación de pintura termo-reflectante en una cubierta metálica de panel sandwich

Problema: Las condiciones de trabajo para el personal en el interior de la nave eran adversas debido a las altas temperaturas registradas en verano, mayores a 30 °C. Pasos para la implementación del sistema:

- Aplicación de 1 capa de imprimación para superficies poco porosas, galvanizadas, de aluminio, etc.
- Aplicación de 2 capas de pintura termo-reflectante Surfapaint ThermoDry Elastomeric Roof, mediante pistola airless.



Figura 1. Cubierta metálica tratada con pintura termo-reflectante ThermoDry.

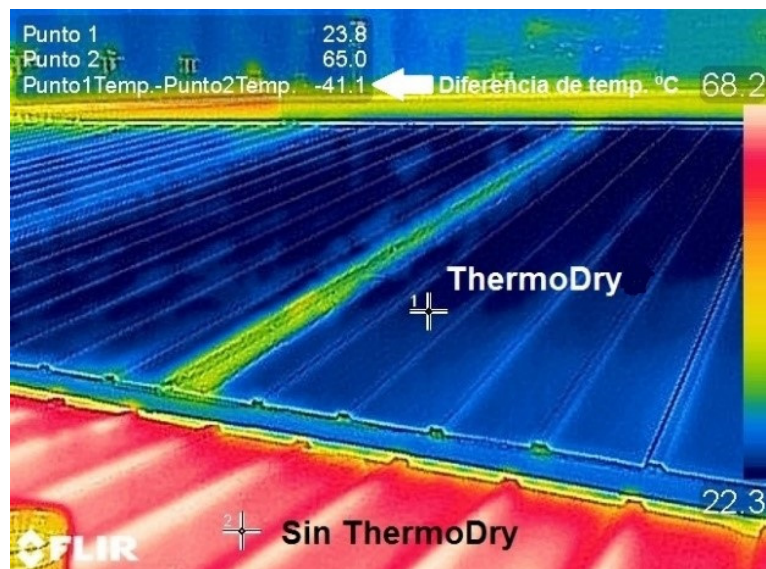


Figura 2. Imagen captada con cámara termográfica para comparar las temperaturas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La pintura termo-reflectante utilizada en el proyecto es Surfapaint Thermodry Elastomeric Roof, del fabricante griego NANOPHOS. Dicha pintura se engloba dentro de la tecnología COOL ROOF, que consiste en minimizar la transferencia de calor y mantener las cubiertas de las construcciones más frías mediante la alta reflectividad y emisividad. El objetivo es bloquear la radiación infrarroja del sol para reducir la transferencia térmica hacia el interior.

El EUROPEAN COOL ROOF COUNCIL es una asociación sin ánimo de lucro que se fundó en 2011, con la finalidad de desarrollar el conocimiento científico e investigación en relación a la tecnología COOL ROOF. Promocionando en consecuencia el uso de productos y materiales cool roof en Europa, incluyendo un programa de valoración de dichos productos para certificar sus propiedades y características. Dichas valoraciones también se pueden consultar en su página web. Estas son las propiedades de la pintura utilizada, según la certificación del European Cool Roof Council:

### Emitancia Térmica 0,90

Es la proporción de radiación térmica absorbida por una superficie que es devuelta al entorno.

### Reflectancia Solar 0,86

Es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie.

### Índice de reflectancia Solar 108

Es un valor que incorpora la reflectancia y la emitancia. Según LEED sería aceptable a partir de 78.

## CONCLUSIONES

- Se instalaron 5 sondas de temperatura en el interior de la nave y 1 sonda en el exterior, para evaluar los resultados.
- La diferencia de temperatura entre la superficie no aplicada y la revestida con la pintura térmica es de 41,1° C. Reducción del 63% de la temperatura exterior de la cubierta metálica.
- En el interior de la nave, la temperatura disminuyó de 30 ° C a 24 ° C (media de 6° C) sin ningún medio adicional de climatización. Supone una reducción de temperatura interior del 20%.
- Importante mejora del confort térmico y de las condiciones de trabajo del personal.

Las aplicaciones de la pintura termo-reflectante son muy diversas; en cubiertas de obra o bituminosas de edificios, cubiertas metálicas de naves industriales, etc.

Aplicada a un edificio, en verano su estructura se calentará menos, disminuyendo así la cantidad de energía para enfriar su interior. En invierno, dejará escapar menos el calor del interior, disminuyendo así la cantidad de energía necesaria para calentarlo. Gracias a la Nanotecnología, se obtiene un producto único que también tiene propiedades hidrofugantes, debido a las nano-partículas de Dióxido de Silicio, que tienen una gran capacidad para permitir que la superficie transpire y se mantenga seca. De esta manera, se minimiza la condensación de la humedad y la creación de moho. Esta característica resulta muy importante para reducir la conductividad térmica de una superficie, puesto que, a menor humedad, menor flujo térmico.

En el presente y futuro de la rehabilitación edificatoria para mejorar la eficiencia energética, deben tomar protagonismo los revestimientos como la pintura termo-reflectante, con propiedades funcionales, proporcionando una importante reducción del coste económico en climatización y una mejora del confort térmico.

La facilidad y rapidez de aplicación, sumadas al coste del producto, todo amortizable en unos 3 años, hacen de esta tecnología una buena alternativa para mejorar la envolvente térmica del obsoleto parque de viviendas en España.

## RECONOCIMIENTOS

NANOPHOS es fabricante de productos químicos para la construcción basados en Nanotecnología. XAVIER ENRÍQUEZ es socio co-fundador de NANOAVANT. Han colaborado a mejorar el estudio y a discutir las ideas.

## ISOBIO: TRAZANDO LA VÍA PARA EL DESARROLLO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN NATURALES A GRAN ESCALA

**Oliver Style**, Investigador ISOBIO, Consultor energético, Progetic

**Bega Clavero Bosque**, Investigadora ISOBIO Arquitecta técnica, Progetic

**Mike Lawrence**, Investigador Principal, BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath

**Patricio Moreno**, Investigador ISOBIO, Dirección de Innovación Tecnológica, Acciona

**Resumen:** Se presenta ISOBIO, un proyecto de investigación europeo de Horizon2020, cuyo objetivo es desarrollar nuevos materiales aislantes y revocos de origen biológico con una alta capacidad de regulación de la humedad, gracias a la microestructura porosa de las materias primas. Se han desarrollado nuevos aislamientos y revocos a base de cáñamo, paja, cal, arcilla, y aglomerantes de origen biológico con tecnología sol-gel, para 3 sistemas compuestos: un panel estructural aislado para nueva construcción, y 2 sistemas para rehabilitación por el interior y exterior. Se instalan en 2 centros de demostración (HIVE, Universidad de Bath, Reino Unido; Test Cell, Acciona, Sevilla), donde se monitoriza su comportamiento real.

**Palabras clave:** ISOBIO, Horizon2020, Material Natural, Material Biológico, Aislamiento, Revoco, Enlucido, Sistema Constructivo, Obra Nueva, Rehabilitación, Cáñamo, Paja, Cal, Arcilla, Sol-gel

### INTRODUCCIÓN

ISOBIO da nombre al proyecto de Desarrollo de Materiales de Aislamiento de Altas Prestaciones a partir de Agregados Bio-derivados. El proyecto europeo, que empezó en febrero de 2015 y dura 4 años, pretende desarrollar nuevos materiales aislantes y revocos a partir de la combinación de agregados de materiales naturales, como fibras vegetales y residuos agrícolas, y aglomerantes biológicos.

El proyecto se engloba dentro del contexto de Horizon2020, programa de investigación de la Unión Europea, en el apartado de Materiales para la Envolvente de los Edificios, EeB-01-2014.

Las pretensiones de ISOBIO se originan a partir del análisis de la situación actual del parque inmobiliario y del sector de la construcción: En la Unión Europea, se calcula que el 40% del consumo total de energía y el 36% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> están relacionados con el sector y el uso y funcionamiento de las edificaciones existentes; de esas emisiones, el 60% provienen solamente de la climatización de los edificios.

Estos alarmantes datos, y con el trasfondo del calentamiento global, abren el reto de la de-carbonización de la construcción, es decir, la reducción del consumo de energía y emisiones de gases contaminantes. El consorcio de ISOBIO, plantea desarrollar materiales con:

- Una reducción del 50 % de la energía embebida en comparación con aislamientos derivados del petróleo.
- Una mejora del 20 % en las prestaciones aislantes en comparación con alternativas tradicionales.
- Una reducción de los costes de producción en un 20 %.

### EL PROYECTO EUROPEO

El proyecto abarca desde el estudio y elección de los materiales de origen biológico hasta la implantación en el mercado europeo, pasando por el desarrollo, la industrialización y el análisis y comprobación de los productos y soluciones resultantes. Este proceso se ha dividido en paquetes de trabajo, que se desarrollan a lo largo de estos 4 años de duración y que implican unos resultados concretos para cada uno.





Figura 1. Gráfico conceptual del alcance del proyecto ISOBIO.

## Caracterización y formulación

### Bio-agregados

Se han identificado los materiales de origen biológico disponibles en el mercado y se han estudiado en profundidad sus propiedades físicas, químicas, mecánicas, hídras e higrotérmicas. Del mismo modo, se han definido las propiedades técnicas requeridas de los productos resultantes de ISOBIO. Una vez caracterizadas las materias primas, se han seleccionado las que más posibilidades brindaban como posibles bio-agregados:

- Cáñamo
- Paja

### Aglomerante

En un inicio se formularon las características que deberían tener los materiales aglomerantes:

- Procesabilidad: baja viscosidad, larga vida útil, alto contenido sólido
- Propiedades mecánicas favorables
- Resistencia al agua y alta durabilidad
- Nulo o muy bajo contenido en COVs
- Coste razonable
- Máximo contenido de origen biológico
- Alta reactividad, fraguado rápido a baja temperatura

Se ha incidido en el estudio de los nano-recubrimientos de silicio sobre materiales, donde los ensayos concluyen que aporta hidrofobicidad y resistencia al fuego. Se ha desarrollado con un nuevo aglomerante de origen biológico y un pre-tratamiento superficial protector, contra la humedad y el fuego usando la tecnología sol-gel, desarrollada por uno de los socios.

### Desarrollo de materiales compuestos

El resultado se concibe como una solución constructiva de cerramiento compuesta de tres capas principales:

- Núcleo aislante
- Revoco exterior
- Enlucido o acabado interior

De ahí se han analizado distintas opciones de formulación de bio-agregados y aglomerantes.

## Desarrollo de producto

En base a la investigación de formulaciones anteriores, se han desarrollado los productos que componen las tres capas principales, mencionadas anteriormente:

### Núcleo aislante

Compuesto principalmente de cáñamo o paja:

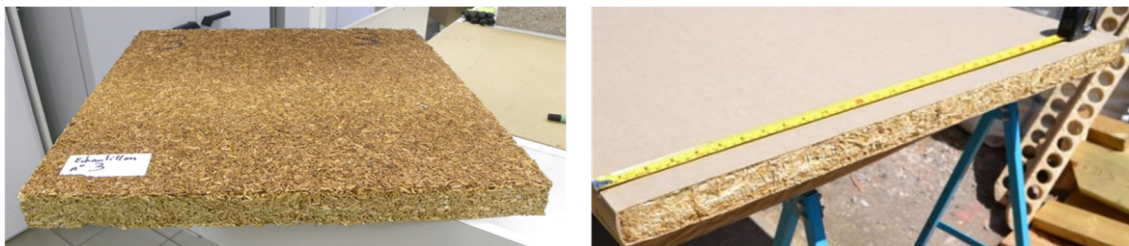


Figura 2. Muestras de prototipos de paneles de núcleo: Panel aislante aglomerado de cáñamo [izq.], Panel aislante aglomerado de paja [der.].



Figura 3. Muestra de aglomerado laminado [izq.], Muestra de aglomerado multicapa [der.].

### Revocos

Se plantean revocos exteriores compuestos de cal y cáñamo.

### Enlucidos

Se han modificado enlucidos de arcilla ya desarrollados por uno de los socios industriales, optimizando la resistencia al fuego y manteniendo las propiedades higroscópicas de regulación de la humedad del material sin que afecte a la trabajabilidad y facilidad de puesta en obra.

## Industrialización y Demostración

### Diseño y optimización del producto

Los socios industriales han realizado el diseño de los productos concretos, definiendo el formato, los sistemas de instalación y la usabilidad del producto. Del mismo modo, han definido el proceso de producción e industrialización de cada producto teniendo presente la tendencia actual de la producción en factoría de los elementos constructivos para reducir tanto costes de producción como impacto medioambiental en dicha producción que son estudiados paralelamente. En el tiempo restante del proyecto, que está actualmente en su ecuador, se van a realizar ensayos de producción, que concluirán en la fabricación de prototipos para instalar en los centros de demostración para su monitorización.

El diseño de los productos, se ha optimizado a tanto a nivel económico, ajustando los costes de producción, como en las prestaciones térmicas e higrotérmicas, mediante la simulación con software especializado como WUFI Pro y Mold 3D Pro.

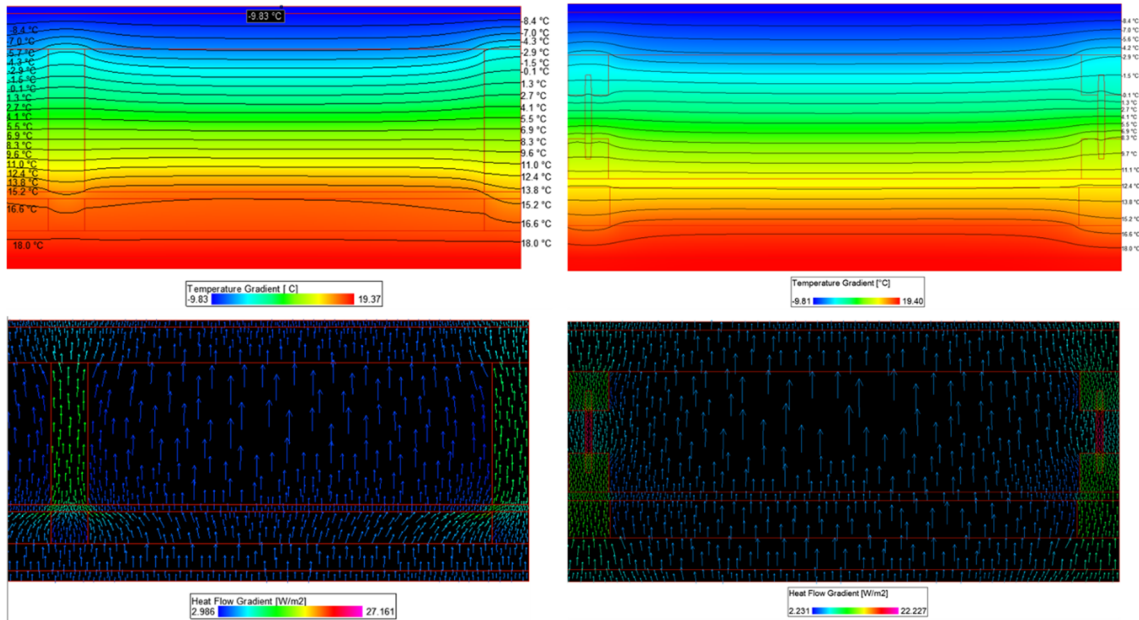


Figura 4. Simulación térmica: Análisis del impacto térmico bi-dimensional de distintos elementos estructurales.

### Demostración

Los prototipos de sistemas se van a instalar en dos centros de demostración, HIVE en la Universidad de Bath, en el Reino Unido y Test-Cell, en las instalaciones de Acciona en Sevilla, España.

El objetivo es analizar el comportamiento térmico e higrotérmico en dos zonas climáticas diferentes y comprobar la efectividad real de las soluciones de cerramiento desarrolladas.

Para dicho análisis, se ha diseñado un plan de monitorización, el cual se compone de:

- 4 puntos de medición de temperaturas superficiales interiores y exteriores
- 4 puntos de medición de temperatura y humedad interiores
- Temperatura, humedad y radiación solar exterior



Figura 5. HIVE, Universidad de Bath [izq.], Test-Cell, Acciona [der.].

## Resultados

Se han desarrollado tres soluciones de cerramiento:

### **Panel estructural aislado: Obra nueva**

- Cara exterior
  - o Impermeable
  - o Resistente al fuego
  - o Variedad de acabados
    - Revoco de cal
    - Fachada ventilada
- Cara interior
  - o Hermética al aire
  - o Permeable al vapor de agua
  - o Reguladora de la humedad
  - o Resistente al fuego
  - o Acabado de enlucido de arcilla
    - Colores
    - Texturas

### **Panel interior: Rehabilitación**

- Regulación de la humedad
- Aislante
- Resistente al fuego
- Fácil puesta en obra: piezas de menor tamaño
- Fijación mecánica o adhesiva de origen biológico
- Acabado interior de enlucido de arcilla

### **Panel exterior: Rehabilitación**

- Impermeable al agua
- Aislante
- Resistente al fuego
- Reducción de tiempos de instalación: Piezas de mayor tamaño
- Fijación mecánica o adhesiva de origen biológico
- Acabado exterior de revoco de cal

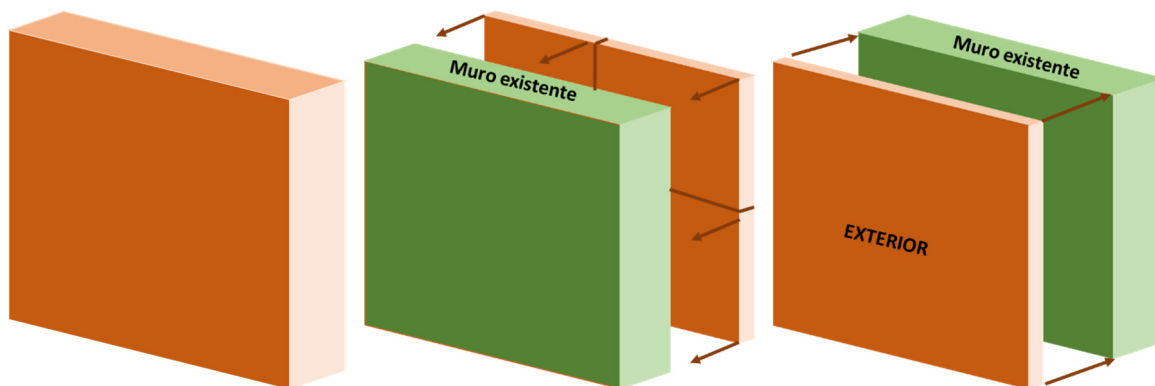


Figura 6. Esquema Panel estructural aislado. Figura 7. Esquema Panel Interior para Rehabilitación. Figura 8. Esquema Panel Exterior para Rehabilitación.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los beneficios de los productos ISOBIO serán una menor energía embebida y CO<sub>2</sub>, una mejora de las propiedades aislantes, igual durabilidad y estabilidad y una reducción de la energía utilizada durante la vida útil de los edificios, nuevos o rehabilitados.

El principal objetivo de ISOBIO es normalizar el uso de materiales naturales y hacerlos tan comunes como los que derivan de minerales o del petróleo. Los aislamientos resultantes de ISOBIO se presentan como una alternativa real a los tradicionales, ofreciendo además el valor añadido de regulación del ambiente interior y propiedades de absorción de contaminantes del aire. Los revocos, ofrecen propiedades de control de vapor superiores a los que hay en el mercado, característica muy indicada para rehabilitaciones.

El potencial de los productos de ISOBIO para dar uso a desechos de la industria agrícola, implica una mejora en el rendimiento de los cultivos añadiendo valor a materiales que de otro modo tendrían muy bajo valor económico o serían simplemente desperdicios que impactarían negativamente en el medio ambiente

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto ISOBIO se realiza gracias a la subvención N° 636835 otorgada por la Unión Europea. <http://isobioproject.com>

El consorcio está formado por: TWI, University of Bath, Université de Rennes 1, Norsk Institutt for Bioeconomy, Greenovate! Europe, BCB, Claytec, Stramit International, Cavac Biomatérieux, Acciona y Progetic.

## REFERENCIAS

- Lawrence, M., 2017, Introduction to the ISOBIO Project, Stakeholder Workshop, Bruselas.
- Style O., 2017, ISOBIO Naturally High Performance Insulation, Lignomad17, Barcelona.

# ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UN ESPACIO COMERCIAL PLANTA CALLE

**Belén Puente Casado**, Responsable de Marketing & Prescripción, HIPLUS AIRE ACONDICIONADO

**Resumen:** La comunicación en cuestión pretende comparar para un local comercial planta calle y una superficie de 200 m<sup>2</sup>, las diferentes soluciones técnicas que el mercado ofrece para la climatización del mismo. Estas soluciones planteadas se compararán en cuanto a coste de inversión, así como coste operativo, obteniendo diferentes curvas de costes, que nos darán períodos de amortización de unas tecnologías frente a otras. El empleo de equipos Full Inverter, así como la integración arquitectónica de los elementos de climatización en las peculiaridades de cada emplazamiento, también juegan un papel importante en la selección del sistema más idóneo.

**Palabras clave:** Climatización, Eficiencia, Inverter, Integración, Viabilidad, Amortización, VWF

## INTRODUCCIÓN

La climatización de espacios comerciales es, evidentemente, una parte muy importante de cara a la apertura de un negocio destinado a captar y atender a posibles clientes en el mismo. La creación de unas condiciones agradables en el local pretende generar una atmósfera propicia en la que el cliente se sienta cómodo mientras consume, e invitarle a repetir en futuras visitas. Esto es algo que siempre se ha tenido en cuenta y a medida que la climatización se fue incorporando al día a día de los usuarios en el trabajo o en sus viviendas, lo ha hecho también, con más fuerza si cabe, en los espacios comerciales.

La elección de uno u otro sistema de climatización (dentro de las diferentes opciones técnicas que se pueden plantear), puede condicionar la viabilidad futura del negocio. Es de vital importancia seleccionar el sistema que con un coste de inversión mínimo garantice unos costes de explotación asumibles para el negocio.

El uso de sistemas Inverter garantiza la máxima adaptabilidad del consumo de climatización a la demanda del local, y esa tecnología es la elección más eficiente y recomendable para aquellos sistemas en los que a día de hoy ya está implementada (como equipos autónomos, bombas de calor, sistemas de expansión directa, etc.).

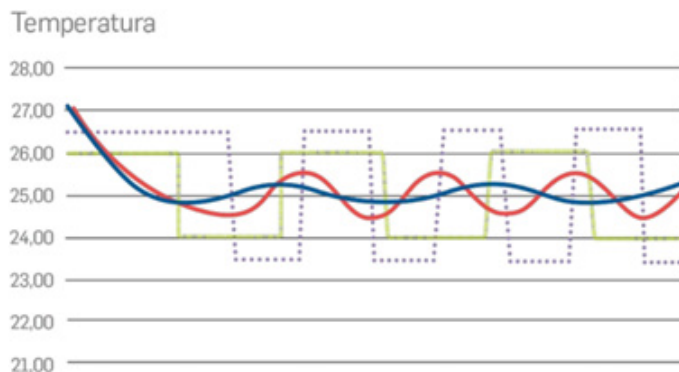


Figura 1. Gráfico estabilidad de temperatura.

La aplicación de sistemas INVERTER en la climatización (entendiendo por INVERTER aquel sistema donde al menos el compresor lo sea) de espacios comerciales se justifica de forma contundente desde distintos puntos de vista:

- Mayor confort: la tecnología INVERTER permite obtener una mayor estabilidad en la temperatura del local.
- Mayor eficiencia: la posibilidad de adaptar consumos a demandas hace que los rendimientos estacionales de los sistemas INVERTER superen notablemente a los de los sistemas ON-Off.
- Menor dependencia de las resistencias eléctricas de apoyo: los equipos INVERTER tienen rangos mucho más amplios de funcionamiento en bomba de calor, y mantienen rendimientos óptimos a temperaturas bajo cero.
- Menor nivel sonoro: cuando el compresor trabaja a regímenes bajos de giro (la mayor parte del tiempo) se minimiza el nivel sonoro global del equipo.

- Control de condensación incluido e implementado en la propia electrónica del INVERTER: permitiendo el funcionamiento en modo frío con bajas temperaturas exteriores.
- Posibilidad de conseguir mayor eficiencia global conjugando diferentes elementos claves con la tecnología INVERTER. Así surge el concepto de FULL INVERTER, cuando en un mismo sistema se combinan compresores, ventiladores y sistemas de bombeo todos ellos con caudal variable.



Figura 2. Componentes en un FULL INVERTER.

## ESPACIOS COMERCIALES PLANTA CALLE

La climatización de espacios comerciales en planta calle tiene unas limitaciones en cuanto a la selección de su sistema de climatización que no encontramos en locales aislados con acceso ilimitado a cubierta. Hay que tener muy presente las normativas municipales que aplican en cada caso, con una especial atención a la limitación de caudal de descarga en fachada y los permisos pertinentes para ubicar condensadoras en cubierta, sin romper la armonía arquitectónica.

En todo sistema de climatización (a excepción de los condensados por agua) que empleemos vamos a tener un intercambio térmico con el aire exterior, que puede ser de dos tipos:

1. Por ubicación directa de la parte condensadora en el exterior, y condensación mediante ventiladores axiales.
2. Por circulación de aire sobre la batería condensadora ubicada en el interior del local, gracias a ventiladores centrífugos.



Figura 3. Ejemplo climatización local planta calle.

La distribución del aire climatizado al local también se puede realizar de diferentes maneras, pero éstas no inciden de forma significativa en la eficiencia global de la instalación. En el presente documento vamos a comparar los cinco sistemas de climatización que la tecnología actual nos permite para la climatización de un espacio comercial en planta calle. Estos sistemas a comparar son:

- Equipo autónomo compacto aire-aire con tecnología On-Off, con red de conductos interior.
- Equipo autónomo compacto aire-aire con tecnología Inverter, con red de conductos interior.
- Equipo VWF (*Variable Water Flow*), aire-agua centrífugo, con 5 unidades terminales tipo cassette.
- Equipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*), aire-refrigerante centrífugo, con 5 unidades terminales tipo cassette.
- Equipo VRF, aire-refrigerante axial, con 5 unidades terminales tipo cassette.



Figura 4. Sistema VWF con 5 interiores tipo cassette.

La demanda térmica del local se ha estimado en 25 kW en frío 25 kW en bomba de calor. Se han realizado una serie de hipótesis a conocer:

<b>Potencia contratada necesaria para climatización:</b>			
	Autónomo On-Off	25	kW
	Autónomo Inverter	10	kW
	VWF Centrífugo	10	kW
	VRF Centrífugo	10	kW
	VRF Axial	9	kW
<b>365 días de apertura al año:</b>			
	180 funcionamiento en bomba de calor		
	180 funcionamiento en modo frío		
<b>Horas de apertura al día:</b>			
		12	horas
<b>Precios de la energía, según tarifa último recurso (Real Decreto 216/2014; IET/107/2014):</b>			
	Término de potencia	0,104229	€/kW y Día
	Término de energía	0,116787	€/kWh
	Estimado una revisión anual	4	Horas
<b>Coste mano de obra:</b>			
		45	€/h
<b>Años 5 y 10, en sistemas VRF, estimado necesidad de llenado circuito con:</b>			
	VRF Centrífugo	5	Kg
	VRF Axial	10	Kg
	Coste refrigerante	70	€/kg

Tabla I. Hipótesis en el trabajo.

Para el cálculo de los costes de inversión se han tenido en cuenta tanto el coste del equipo en cada caso como el coste de instalación del mismo.

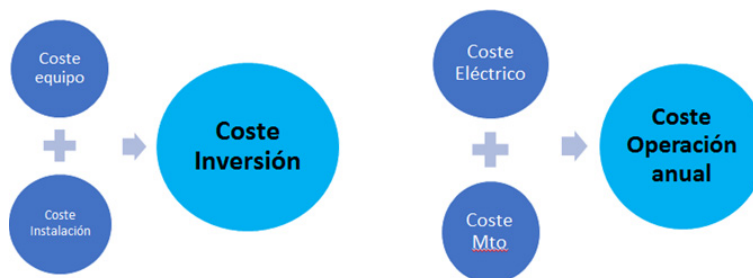


Figura 5. Composición de costes.

Para el cálculo de los costes operativos de cada sistema se han tenido en cuenta tanto el coste eléctrico (térmico fijo + variable), así como el gasto en mantenimiento.

## RESULTADOS

Con todas estas premisas y extrapolando el uso a 10 años obtenemos los siguientes gastos totales asociados al sistema de climatización en un local comercial planta calle de 200 m<sup>2</sup>:



COSTE TOTAL	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Autónomo ON-OFF	8.299 €	14.566 €	20.833 €	27.101 €	33.368 €	39.635 €	45.902 €	52.169 €	58.436 €	64.703 €	70.970 €
Autónomo INVERTER	9.790 €	14.231 €	18.671 €	23.112 €	27.553 €	31.994 €	36.434 €	40.875 €	45.316 €	49.756 €	54.197 €
VWF Centrífugo	13.640 €	16.775 €	19.910 €	23.044 €	26.179 €	29.314 €	32.449 €	35.583 €	38.718 €	41.853 €	44.988 €
VRF Centrífugo	16.922 €	19.917 €	22.912 €	25.907 €	28.902 €	32.247 €	35.242 €	38.237 €	41.232 €	44.227 €	47.572 €
VRF Axial	18.412 €	20.970 €	23.528 €	26.086 €	28.643 €	31.901 €	34.459 €	37.017 €	39.574 €	42.132 €	45.390 €

Tabla II. Costes totales.

El valor “año 0” corresponde a la inversión inicial del sistema.

Si trasladamos estos datos a un gráfico en el que el eje de abscisas son los años, y el de ordenadas los gastos acumulados, tendremos:

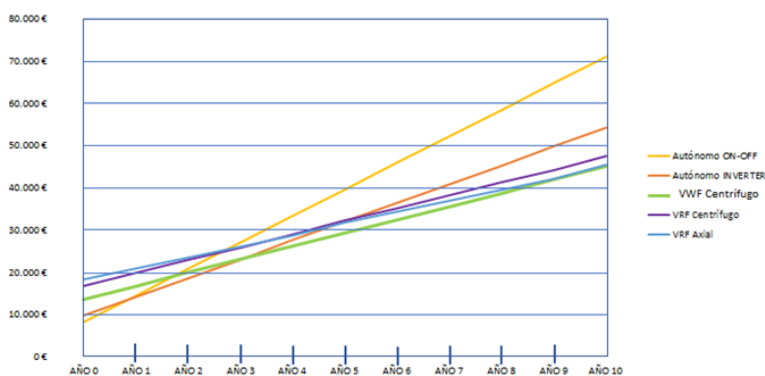


Figura 6. Gráfico costes acumulados.

En la medida que un negocio tiene vistas a medio-largo plazo, podemos tener, a la vista de los resultados anteriores, claros los siguientes puntos:

- El sistema más económico en cuanto a inversión inicial es el que puede lastrar la supervivencia del negocio a medio plazo, ya que tiene unos costes de operación muy superiores al resto de sistemas.
- La sobreinversión de un equipo Autónomo Inverter, frente a un On-Off se amortiza en un plazo de un año.
- La sobreinversión de un sistema VWF Centrífugo, frente a un equipo Autónomo On-Off se amortiza en un plazo inferior a 2 años.
- El sistema VWF Centrífugo es más rentable, frente a la opción del equipo Autónomo Inverter, en 3 años.
- Los sistemas VRF, ya sean axiales o centrífugos tienen unos costes de inversión muy similares, siendo los costes de explotación algo inferiores en la solución axial.
- Las curvas del sistema VRF Centrífugos y la del VWF Centrífugo no se cortan nunca, lo que quiere decir que la sobreinversión del sistema VRF no se amortiza en toda la vida útil del equipo.
- Los costes totales de la solución VWF Centrífuga iguala a los del sistema VRF Axiales aproximadamente en el año 10. Es decir, no se amortiza un sistema VRF hasta el año 10, lo que supone un período de retorno difícilmente justificable.

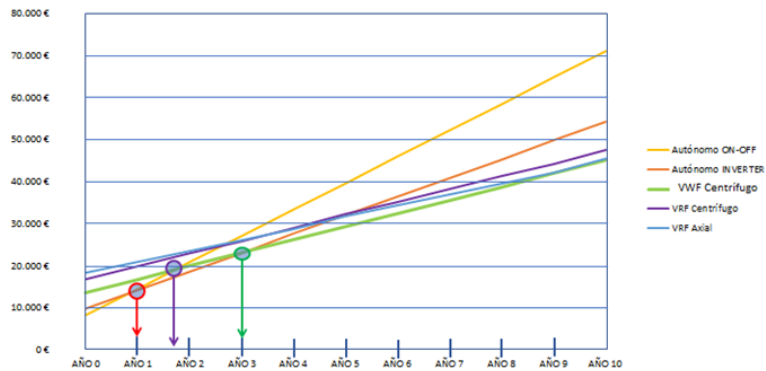


Figura 7. Retornos inversión diferentes tecnologías.

A los condicionantes meramente económicos hay que unir otro adicional que es el derivado de la cada vez mayor carga impositiva que tienen los gases refrigerantes y que penaliza de forma significativa el uso de los mismos (especialmente desde el punto de vista del mantenimiento). Además, está la creciente conciencia de sostenibilidad de muchas empresas que intentan evitar el uso de refrigerantes de manera masiva.

## CONCLUSIONES

Todo lo anteriormente expuesto ha llevado al mercado a una nueva realidad: el diseño de instalaciones de climatización de locales comerciales tipo “planta calle” con equipos centrífugos multizona en los que el fluido caloportador es el agua. El sistema VWF Centrifugo viene a aunar las ventajas de los sistemas multis (ya que a una misma unidad exterior se pueden conectar varias unidades interiores de diferentes tipologías), la tecnología centrífuga (minimizando el impacto visual en el exterior del local y facilitando la instalación) y las bondades del agua como fluido caloportador (mayor confort térmico, bajas presiones en el circuito, gran versatilidad y posibilidades de modificación a futuro en la instalación, menor coste, etc.).

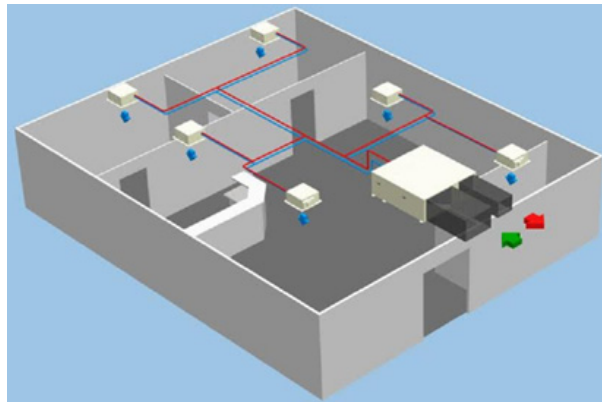


Figura 8. Esquema instalación sistema VWF Centrifugo.

Cada vez de forma más masiva se buscan soluciones de climatización que conjuguen unos costes de inversión moderados con unos gastos de explotación lo menores posibles. Todo ello, unido a una mayor conciencia ecológica por parte de todos los actores que intervienen, hace del sistema VWF Centrifugo la solución más atractiva para la climatización de espacios comerciales en “planta calle”.

# TECNOLOGÍA THERMOPILE: UN NUEVO CONCEPTO APLICADO A LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LOS EECN - EFICIENCIA ENERGÉTICA E HIGROTÉRMICA

**Cristóbal López**, Director Dpto. I+D+i, KOOLNOVA Climatización Personalizada

**José Antonio Gutiérrez**, Director Comercial, KOOLNOVA Climatización Personalizada

**Ana Belén Pabón**, Doctora por la Universidad de Córdoba, KOOLNOVA Climatización Personalizada

**José Luis Rodríguez Correas**, Director Comercial, KOOLAIR

**Resumen:** En esta comunicación se presenta la aplicación de una innovadora tecnología de medición de temperatura, basada en un sensor óptico-térmico THERMOPILE, que permite optimizar la eficiencia energética en los EECN. Junto a la aplicación de un sistema de climatización por zonas, se trata de un original concepto, basado en un análisis de I+D+i, que representa un avance significativo y cualitativo en la medición de temperatura para instalaciones de climatización. Se analiza cada elemento radiante del recinto frente a la evaluación seca y local realizada actualmente (Resistencia NTC). Se presenta una memoria comparativa de ambas soluciones, en la que se demuestra el ahorro energético que ofrece la tecnología THERMOPILE frente a la tradicional en un caso real.

**Palabras clave:** Tecnología, I+D+i, Energía, Climatización, Medición Volumétrica, Thermopile, Sostenibilidad, Zonificación, Ahorro Energético

## MEJORA CONTÍNUA DE LOS EECN: MEDICIÓN VOLUMÉTRICA INTEGRADA EN SISTEMAS DE ZONAS

Con el objetivo de ayudar al cumplimiento de los propósitos de eficiencia energética fijados para 2020, se desarrollan nuevas tecnologías de medición de la temperatura y actuación para las instalaciones térmicas de los edificios.

### Antecedentes

Los sistemas de climatización conducidos han sufrido una amplia transformación a lo largo de su historia. El primer gran paso surge con la sectorización o zonificación, de este modo se evita derrochar energía en las habitaciones desocupadas y elimina el malestar al ofrecer a cada sector la temperatura deseada por sus ocupantes. Se tiene en cuenta que los sistemas de zonas son independientes de las máquinas de climatización, pero sin embargo interactúa sobre ellas, estableciendo temperatura de consigna que se alcanzarán en función de la temperatura medida en cada sector.

Se plantea en la actualidad un segundo salto que fomente el ahorro energético en las instalaciones de climatización de los edificios, y ayude a conseguir EECN. Gracias a la introducción de un nuevo concepto de medición de temperatura basado en sensor óptico-térmico THERMOPILE dicho reto es posible.

### Descripción

Los sensores THERMOPILE se aplican junto a los sistemas de climatización por zonas. Representan una mejora considerable en la medición de temperatura para instalaciones de climatización en los EECN. Se trata de un método innovador, con capacidad de determinar la temperatura de cada uno de los recintos de una manera precisa y objetiva desde la rejilla de impulsión motorizada, o desde un punto deseado (generalmente techo en instalaciones con suelo radiante). El sensor inteligente se instala en el marco de la rejilla en la cual queda totalmente integrado.

Para que el elemento de control del sistema de zonificación, tome la decisión de abrir o cerrar la circulación de aire, ha de tener conocimiento de la temperatura del habitáculo. Cuando se alcance la temperatura de consigna, se cierra de forma automática la impulsión de aire (agua, en caso de suelo radiante).



Figura 1. Sensor THERMOPILE integrado en rejilla difusora motorizada.

## Metodología

En general, los sistemas de climatización por zonas para edificios disponen de medición de temperatura, basado en medición seca y local a través de resistencias NTC (Negative Temperature Coefficient). Este método es uno de los más económicos y ampliamente extendidos, sin embargo este no representa la mejor opción en la medición de temperatura de estancias. Se define como medición localizada en un ámbito muy cercano a la ubicación de la resistencia. Por ello los fabricantes advierten la necesidad de ubicar los termostatos teniendo en cuenta diversos aspectos:

- Ubicar el termostato a 1.5 metros de altura para evitar la estratificación del aire.
- No ubicar el termostato al lado de un foco de calor o frío.
- Evitar la exposición del termostato en una corriente de aire.

La realidad demuestra que no existe una temperatura única y homogénea dentro de los recintos cerrados a climatizar. Existen diferentes cargas térmicas tales como luces, acristalamientos, personas, equipos, entre otros; que provocan diferentes temperaturas según sea la ubicación de los mismos en el local de estudio.

Si se tienen en cuenta los aspectos hasta el momento mencionados, además de la estratificación térmica y el gradiente de temperatura existente, deben buscarse alternativas de medición que recojan datos representativos.

## Innovación

$T^{\text{a}}$  media radiada  
THERMOPILE
 
Vs

 $T^{\text{a}}$  localizada seca  
NTC

La medición real de la temperatura cobra especial interés, ya que una medición localizada (resistencia NTC) de la misma influirá de manera muy relevante sobre la cantidad de aire aportado y por ende de la eficiencia energética. Gran importancia tiene la temperatura superficial de los paramentos en la sensación de confort y por tanto en el ahorro que se puede conseguir con un manejo adecuado. La obtención de una temperatura media de todos los elementos radiantes supone una mejora considerable en la eficiencia energética de la instalación.

La solución técnica aportada por medio de un sensor THERMOPILE (volumétrico), permite obtener una medición exacta, eficiente y media de la temperatura de cada espacio. Se trata de un sensor térmico especial y su aplicación implica una innovación en la climatización de los EECN.



Figura 2. Pseudo imagen digital térmica en un recinto interior.

Una de las ventajas más importantes que diferencia este procedimiento de medición del resto, es la capacidad de realizar una pseudo imagen digital térmica de todo el recinto que se encuentre frente a él, sea un sólido o un gas. Un microprocesador interno del sensor ejecuta un algoritmo continuamente dando como resultado una temperatura media del volumen de la estancia objeto de la medición.

Su funcionamiento está basado en los estudios de Leopoldo Nobili (1784-1835) del efecto termoeléctrico, al medir la radiación infrarroja (IR) con dos contactos de Bismuto y Antimonio. Así como en la consecución de la fórmula de la longitud de onda máxima emitida por los cuerpos, por parte de Wilhelm Wien (1864-1928):

$$\lambda_{\max} = 2898/T$$

$\lambda$  : Longitud de onda en  $\mu\text{m}$ ; T : Temperatura en K (Kelvin)

La aparición de las leyes de Planck (Max Planck 1858 – 1947) sobre la radiación de un cuerpo negro, donde se enuncia que este absorbe todas las longitudes de onda, emitiendo únicamente una radiación infrarroja representativa de su temperatura, fue el último eslabón teórico necesario para que se pudiera desarrollar esta tecnología.

### Descripción

La construcción de este tipo de sensor se compone de:

- Una capsula metálica conteniendo un sustrato de Bismuto-Antimonio (Bi-Sb).
- Un filtro especial de la radiación que se pretende absorber (IR).
- Un circuito microprocesador.



Figura 3. Sensor Thermopile.

El sustrato de Bi-Sb es una matriz de filas y columnas, pudiéndose llegar hasta 200 celdas ofreciendo cada una su medida. Estas medidas las gestiona el microprocesador (DSP) interno para ofrecer una medida final cada cierto tiempo (regulable). El resultado es un sensor que informa de la temperatura de la materia que se enfrenta a él, sea un sólido ó un gas, como puede ser el Nitrógeno.

En el caso de los gases se aplica un factor de corrección en función del tipo de gas ya que, por ejemplo, el Neón solo emite un 62% de radiación IR, mientras que el Nitrógeno emite el 100%. Es por tanto ideal para medir la temperatura del aire circundante, al contener un 80% de Nitrógeno.

El ángulo de apertura de la ventana de medida es de 90°, ideal para la medida de gases en grandes recintos. Se presenta por tanto una solución tecnológica única en el mercado para la medición eficaz de la temperatura de los edificios climatizados por zonas. Tecnología desarrollada gracias a un estudio basado en I+D+i, que representa un avance importante de aplicación en los EECN.

## COMPARACIÓN DE RESULTADOS: MÉTODO CONVENCIONAL NTC VS NUEVO SISTEMA THERMOPILE

Como ya se menciona anteriormente, para sensores NTC, la ubicación de los termostatos pasa a tener un papel decisivo en el correcto funcionamiento del sistema de climatización. Por el contrario, gracias al uso del sensor THERMOPILE, el gradiente de temperatura de una estancia es tenido en cuenta, obteniendo la temperatura media efectiva de la estancia y por tanto obteniendo un mayor ajuste eficiencia-ahorro.

La finalidad es obtener un edificio que demande la menor cantidad de energía posible y seguir optimizando recursos, consiguiendo a lo largo del tiempo unos ahorros aún mayores en la climatización, siempre en aras del fomento del confort higrotérmico de los inquilinos.

A continuación se presenta un caso práctico donde se aplican ambas tecnologías por separado: Tecnología NTC estándar frente al nuevo sistema THERMOPILE, obteniendo datos para su posterior análisis. Con este estudio se pone de manifiesto el potencial de la tecnología THERMOPILE desarrollada.

### Edificio “Vega Norte”



Figura 4. Fachada Sureste. OVC.

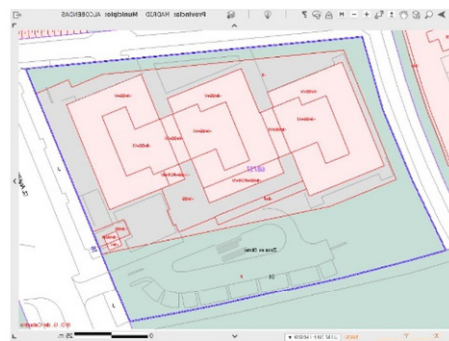


Figura 5. Planta del edificio.

El edificio Vega Norte se distribuye en siete plantas, de las cuales dos de ellas están dedicadas a aparcamientos, una a locales comerciales y las cuatro restantes, a oficinas.

En el presente proyecto se plantea el estudio de la planta tercera del edificio, distribuida en tres módulos de oficinas.

La fachada exterior de cristal aporta iluminación natural a los amplios módulos de oficinas, reduciendo la dependencia de iluminación artificial con el consecuente ahorro energético. En contraposición las amplias cristalerías disminuyen las condiciones de confort en la proximidad a las fachadas, aumentando el efecto de pared fría en invierno y pared caliente en verano.

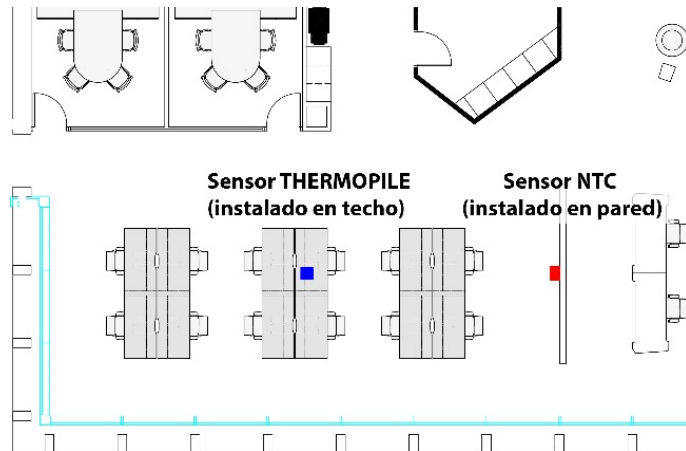


Figura 6. Ubicación de sensores. Planta 3, Módulo 3. Zona 6.

Para cuantificar el ahorro de energía que supone la utilización de la tecnología THERMOPILE, se realizan estudios para un mismo sistema de climatización por zonas. Las únicas diferencias se encuentran por un lado en la tecnología de medición de la temperatura y por otro en la ubicación del sensor.

- Sensor NTC\*: instalado en pared a 1,5 metros del suelo. Sin exposición a la luz solar, fuentes de calor, ni corrientes de aire.
- Sensor THERMOPILE\*: instalado en techo.

Ambos sensores ubicados en el mismo plano respecto de la fachada exterior.

**Datos de la medición:** (sin aporte de climatización<sup>1</sup>)

Día Soleado:  $T^{\text{a}}$  máx:29°C;  $T^{\text{a}}$  mín:20°C.

Día nublado:  $T^{\text{a}}$  máx:10°C;  $T^{\text{a}}$  mín:1°C.

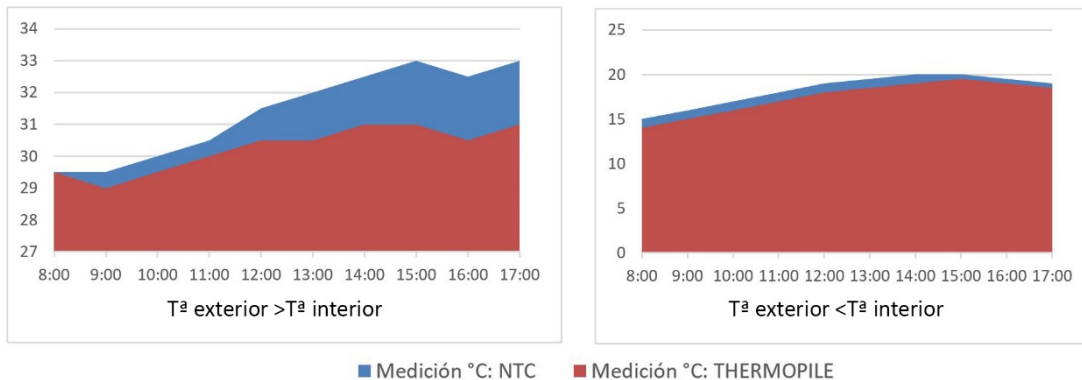
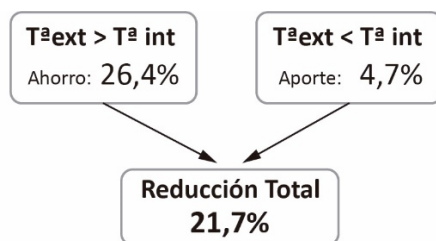


Figura 7. Datos obtenidos de la medición NTC vs THERMOPILE.

Del análisis de los datos obtenidos durante las mediciones, se aprecia una variación en la temperatura medida entre ambos sensores:

**Tª exterior > Tª interior:** Siendo las temperaturas medidas por el sensor NTC, mayores que las obtenidas por THERMOPILE, suponiendo una **reducción energética de aproximadamente un 26,4%**. Dicha medición tiene en cuenta cargas por transmisión, radiación, equipos, iluminación y ocupación que agravan la situación.

**Tª exterior < Tª interior:** Donde las temperaturas medidas por el sensor NTC son levemente mayores que las obtenidas por THERMOPILE. **Obteniendo un aporte energético adicional de aproximadamente un 4,7%**.



Considerando ambas mediciones aportadas en el apartado anterior, utilizando el sensor THERMOPILE Vs NTC y combinándolas a lo largo de un año natural se puede apreciar **una reducción energética del 21,7% en climatización del edificio.**

## CONCLUSIONES

Los sistemas de zonificación con sensores volumétricos, aportan valor a las instalaciones de climatización.

La aplicación de nuevos sensores de medición de temperatura con tecnología THERMOPILE, surge del esfuerzo por procurar la mejora de los edificios de EECN.

La variación en la medición de temperatura repercute en una reducción en la demanda de energía de refrigeración-calefacción y por lo tanto reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>. El objetivo es conseguir adaptar el aporte de climatización a la auténtica demanda.

## REFERENCIAS

- Castro, J.L., A method to measure total atmospheric long-wave down-welling radiation using a low cost infrared thermometer tilted to the vertical, Energy, Volume 81, 2015, Pages 233-244, ISSN 0360-5442.
- Melexis Microelectronic Integrated Systems (2006), MLX90614 family Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39; Data Sheet Sep. 14, Rev 1.0 pp. 1 through 35.
- Sheet, M. D. (2009). MLX90614 family, single and dual zone infrared thermometer in TO-39.
- IDAE. Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2015. 1ª Edición. Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. Julio 2017.

## NOTA FINAL

<sup>1</sup> Para el análisis comparativo de ambas soluciones técnicas, no se considera el efecto de aporte de climatización, por ser un efecto común para las dos soluciones.



# SOLUCIONES INNOVADORAS DE FACHADAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN CON PCMS PARA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

**José Sánchez Ramos**, Grupo de Termotecnia, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

**M. Carmen Guerrero Delgado**, Grupo de Termotecnia, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

**Servando Álvarez Domínguez**, Grupo de Termotecnia, Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

**Lidia Navarro Farre**, GREA Innovació Concurrent, Universidad de Lleida

**Luisa F. Cabeza**, GREA Innovació Concurrent, Universidad de Lleida

**Lorenzo Olivarri**, Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC

**José Antonio Tenorio Rios**, Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC

**Resumen:** El uso combinado de los sistemas de almacenamiento de energía térmica (TES) y los sistemas de construcción térmicamente activados (TABS) tiene un gran potencial de ahorro de energía, lo que permite una integración y gestión eficientes de las fuentes de energías renovables en los edificios. En este trabajo se presentan los estudios para obtener el potencial de una nueva solución TABS con dos innovaciones con respecto a las existentes en el mercado: su activación se hace mediante agua caliente/fría producida mediante sistemas renovables; y su elemento estructural de hormigón además de tener acoplado el intercambiador presenta un mortero innovador dopado con material de cambio fase microencapsulado PCM.

**Palabras clave:** Material de Cambio de Fase, Almacenamiento de Energía Térmica, Sistemas de Edificios con Activación Térmica, Pared Radiante

## INTRODUCCIÓN

La realidad energética de España, unida a la carestía energética existente a nivel mundial, ha provocado un doble efecto. Por un lado, los usuarios son cada vez más conscientes del coste energético al que se enfrentan y, por otro lado, las administraciones públicas han tomado conciencia de la importancia de limitar el consumo energético en la edificación como vía para combatir el cambio climático y reducir la dependencia energética con el exterior.

Esta situación (ODYSSSE, 2015; Santamouris, 2016) supone una gran oportunidad para soluciones constructivas innovadoras con un comportamiento energético que supere el enfoque tradicional de reducción de la transmitancia, cuyos beneficios están limitados, y actúen como acumuladores energéticos de ciclo corto, reduciendo la demanda energética del edificio y con un potencial muy superior al de los materiales aislantes, que por otro lado son imprescindibles.

En este contexto, las estrategias que tienen como objetivo reducir las necesidades de calor y frío aumentando el nivel de confort térmico de los edificios, tales como los sistemas de almacenamiento térmicos (TES) y los sistemas de activación térmica (TABS), han ganado interés al proporcionar un alto potencia de ahorro energético (Arce, Medrano, Gil, Oró, & Cabeza, 2011). La implementación de técnicas de almacenamiento térmico mejora la eficiencia energética de edificios al reducir las necesidades punta (costes), desacoplar las necesidades del edificio de los sistemas de producción. Asimismo favorecen la integración de fuentes renovables y la posibilidad de una gestión energética eficiente (de Gracia & Cabeza, 2015; Heier, Bales, & Martin, 2015).

Este trabajo se presenta una solución innovadora de TABS activada mediante tuberías de agua. Además de las ventajas comentadas, la solución presenta una alta inercia térmica probada que garantiza una reducción sensible de costes (Romaní, de Gracia, & Cabeza, 2016; Saelens, Parys, & Baetens, 2011). Además, el calor que irradian estos elementos mejora la condiciones de confort (medio plazo) al mejora la distribución térmica interior, lo que supone una ventaja competitiva con respecto a los sistemas convectivos convencionales (Corgnati & Kindinis, 2007; Henze, Felsmann, Kalz, & Herkel, 2008; Salvalai, Pfafferoth, & Sesana, 2013).

Este trabajo se enclava dentro del proyecto INPHASE. El objetivo del proyecto (2016-2018) es desarrollar un nuevo panel prefabricado para fachadas de edificios residenciales (viviendas, hoteles, residencias universitarias, residencias de ancianos, etc.) ejecutado de forma industrializada con sistemas convencionales que presente una elevada inercia térmica mediante la integración de hormigón y materiales de cambio de fase (PCMs), que reduzca la demanda energética de dichos edificios, consiguiendo así, sin necesidad de aplicar medidas adicionales, un cerramiento

orientado a utilizarse en los nuevos edificios de consumo de energía casi nulo. Esta solución constructiva de nuevo desarrollo puede integrar los materiales de cambio de fase, bien en la matriz de hormigón, bien en la solución constructiva fuera de la matriz de dicho material. Ambas líneas de trabajo presentan ventajas, pero también ciertos desafíos tecnológicos que son necesarios superar mediante la realización del proyecto INPHASE.

El principal reto al que se enfrenta el proyecto es la industrialización de una tecnología que se ha probado eficaz en la mejora del comportamiento energético de soluciones constructivas, pero cuyo proceso de fabricación no ha pasado de la fase experimental, lo que ha impedido la comercialización de soluciones de alta inercia térmica en base a la utilización de materiales de cambio de fase.

Otra de las barreras de estas soluciones es superar es el diseño de un sistema de activación que, mediante una distribución estratégica y homogénea de los materiales de cambio de fase, permita su activación en un periodo de tiempo lo suficientemente corto como para permitir su carga y su descarga en ciclos de 24 horas o superiores.

Para la consecución de estos objetivos, se modelan tanto los materiales como las soluciones constructivas que esbozadas; y una vez seleccionados aquellos con mayor potencial, se han realizado prototipos monitorizados que permitirán la verificación a escala real de sus prestaciones energéticas. Asimismo se desarrollan todos los componentes necesarios para la comercialización de la solución innovadora: nuevos morteros, emparrillado de tubos, líneas de fabricación

## METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se puede separar en dos partes: la parte experimental en la que además de probar el prototipo en el futuro, desarrolla toda la labor necesaria para la creación de los nuevos materiales, así como su estandarización; y la parte teórica en la que vía simulación se diseña la solución óptima para el sistema y las variaciones de la misma en función del potencial posible.

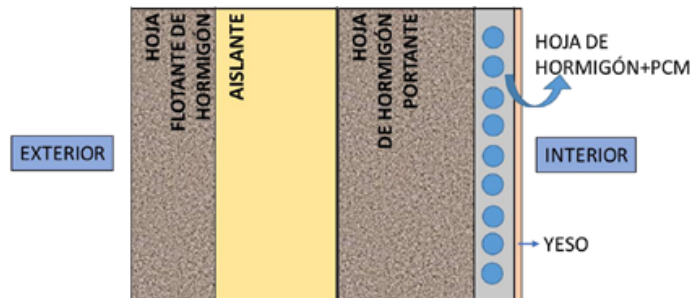


Figura 1. Esquema de la solución innovadora en desarrollo.

Para que toda la cadena de valor quede desarrollada desde el nivel de desarrollo tecnológico de partida de la solución hasta su integración en un entorno coherente (justo antes de su salida a mercado), se establecen dos bloques de trabajo: un bloque de trabajo experimental diseñado a partir de estudios teóricos vía simulación que permitirá la validación de modelos; y un bloque de simulación con el que obtener herramientas de replicabilidad que permitan obtener la base de conocimiento necesaria para que el modelo de negocio vinculado a la solución quede consolidado.

### Bloque experimental

El elemento singular es el mortero sobre el que se fija en el emparrillado de tubos y además se añade el material de PCM. Para ello se han analizado lechadas y morteros. El mortero se obtiene de la mezcla de cemento CEM I 52.5 R, agregado fino, relleno de piedra caliza y PCM microencapsulado Micronal DS 5038X.

El objetivo general de la línea de investigación dentro de este trabajo se ha desarrollado es la formulación de un mortero mejorado con PCM para ser utilizado en componentes prefabricados de fachada térmicamente activados. De hecho, para esta aplicación específica, el material debe tener características específicas, tales como:

- Buena trabajabilidad y propiedades de autocompactación, con el fin de sustituir adecuadamente los hormigones autocompactantes convencionales utilizados en la construcción de los paneles prefabricados de fachada;

- Buena efusividad térmica (también llamada admitancia específica, coeficiente de penetración térmica o inercia térmica), con el fin de almacenar de manera útil una cantidad significativa de energía térmica en tiempos relativamente cortos bajo gradientes de baja temperatura.



Figura 2. Ejemplos de muestras de mortero analizadas para el cálculo de la conductividad térmica.

## Bloque simulación

Utilizando un modelo numérico tridimensional transitorio se ha calculado el campo de temperaturas natural (sin activación) de diferentes cerramientos exteriores en diferentes climas y para las dos estaciones de acondicionamiento (calefacción y refrigeración).

El objetivo del modelo es analizar la influencia de las diferentes variables de diseño que afectan a la solución propuesta; así como la eficiencia de almacenamiento. El modelo permite la resolución en detalle del transitorio del problema pudiendo calcular: la evolución de temperatura, la cantidad de calor almacenado en la masa térmica durante la activación del PCM; y la cantidad de calor útil aprovechada. A partir de estos flujos energéticos se puede calcular la eficiencia de almacenamiento, la cual se convierte en el indicador de toma de decisiones en fase de diseño.

## RESULTADOS

En este epígrafe se muestran algunos de los resultados obtenidos vía simulación más relevantes. A partir de estos resultados del modelo detallado, se han descartado alternativas barajadas y se ha seleccionado la mejor alternativa para los experimentos que se realizarán en la próxima anualidad. Otro resultado de interés ha sido la importancia no solo de la activación del PCM para su carga, si no de la descarga hasta conseguir aprovechar toda la energía latente mediante su cesión desde el elemento al espacio acondicionado. Este resultado se ha plasmado en estudio con carga durante un periodo de 6-8-10 h y descarga durante dos días. Se ha visto como la capacidad latente de la solución favorece la gestionabilidad del recurso renovable activador, al garantizar una autonomía de descarga superior a dos días desde el periodo de carga tomado.

Asimismo la energía almacenada y restituida calculada con el modelo CFD es el dato de entrada al análisis de sensibilidad en demanda. Con este análisis se estudia el efecto en la demanda de calefacción de la solución propuesta. Este análisis se hace en términos de porcentaje de reducción de la demanda de calefacción. Debido a que este sistema opera cíclicamente, se han considerado tres posibles ciclos de operación: ciclo de un día: carga y descarga en un día; ciclo de dos días: carga en un día y dos días descargando; y ciclo de tres días: carga y uno tres días de descargando.

En la siguiente tabla se muestra el efecto (Carga kWh/m<sup>2</sup> de fachada) de la temperatura del agua de activación y de la distancia entre tubos del intercambiador.

		Temperatura del agua (°C)				Carga Máxima
		30	35	40	45	
Distancia entre tubos (cm)	8		0.48			0.94
	10		0.46			0.94
	12	0.27	0.45	0.60	0.75	0.94
Carga Máxima		0.66	0.94	1.23	1.51	

		Temperatura del agua (°C)			
		30	35	40	45
Distancia entre tubos (cm)	8		51.1%		
	10		49.4%		
	12	41.8%	47.3%	48.7%	49.5%

Figura 3. Resultados tipo a partir de las simulaciones CFD de la solución diseñada.

A partir de estos resultados se han descartado alternativas barajadas y se ha seleccionado la mejor alternativa para los experimentos que se realizarán en la próxima anualidad. Otro resultado de interés ha sido la importancia no solo de la activación del PCM para su carga, si no de la descarga hasta conseguir aprovechar toda la energía latente mediante su cesión desde el elemento al espacio acondicionado. Este resultado se ha plasmado en estudio con carga durante un periodo de 6-8-10 h y descarga durante dos días. Se ha visto como la capacidad latente de la solución favorece la gestionabilidad del recurso renovable activador, al garantizar una autonomía de descarga superior a dos días desde el periodo de carga tomado.

Para realizar el análisis mencionado se ejecutó un procedimiento que brevemente puede ser descrito de la siguiente manera:

- Se tomaron dos viviendas promedio tipo, que por su diseño resultan representativas del parque edificatorio de viviendas en España. En particular cabe destacar que sus relaciones de área de fachada a área de suelo cubren la mayor parte del espectro de viviendas unifamiliares en España.
- Se determina la energía almacenada y descargada por cada m2 de solución constructiva y se relaciona con respecto al área de suelo.
- Se determinan las demandas de calefacción de estas viviendas en las cinco zonas climáticas de invierno de España y bajo distintos supuestos de calidades energéticas de tal manera que se ubiquen en la frontera de las clases energéticas A-B, B-C y C-D.
- De la energía almacenada por la fachada se determina la cantidad que es útil para la reducción de la demanda mediante el el Factor de Utilización.
- Se determina la fracción de demanda cubierta.

En total se tiene que se analizaron 360 casos. De los resultados de la simulación con el modelo simplificado, se pudo determinar que la solución propuesta tiene un elevado potencial para cubrir la demanda de calefacción ya que oscila entre un 99% en el mejor de los casos (vivienda con clase energética A, en zona climática A y con relación de área de fachada a área de suelo de 1.45) a aproximadamente un 50% en el peor de los casos (vivienda con clase energética entre D y C, en zona climática E y con relación de área de fachada a área de suelo de 0.51). (Nota: las clases energéticas están tomadas del Código Técnico de la Edificación actual). Un ejemplo de los resultados obtenidos es el que se muestra en las siguientes gráficas para las siguientes condiciones: zona climática D, viviendas unifamiliares con distintas clases energéticas, y Afachada\_opaca÷ Asuelo=1.45

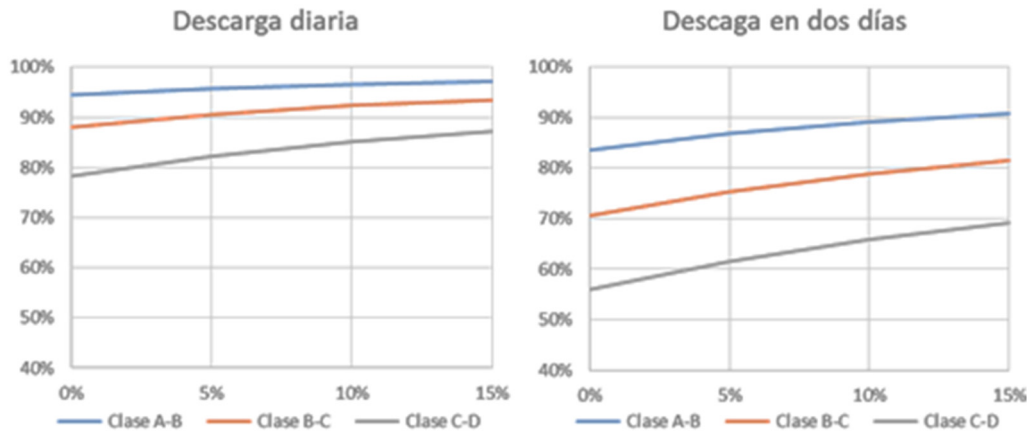


Figura 4. % de las necesidades de calefacción cubiertas en función del % de PCM embebido en la solución propuesta.

Se observa que la cantidad o porcentaje de PCM embebido en la solución climática es más importante o tiene mayor efecto, cuando la descarga ocurre en dos o tres días que cuando ocurre en uno. Esto es debido a que se puede utilizar una mayor fracción del calor almacenado cuando la descarga se da en más de un día.

## CONCLUSIONES

Entre los principales avances obtenidos en las primeras etapas de desarrollo del proyecto destaca, el nuevo diseño realizado del panel de fachada prefabricado de hormigón con PCM, de alta inercia térmica. Vinculados al trabajo de investigación que produce este desarrollo aparecen las siguientes conclusiones.

- Con una temperatura de cambio de fase de 25°C, elegida para invierno, la hoja interior del muro no actúa como barrera térmica en verano porque las temperaturas que se alcanzarán en ella serán del orden de dicho valor y no lograrán cambiarlo de fase. Lo mismo para verano. Si se diseña para invierno, al usarlo en verano en modo disipación sólo se tendría la contribución sensible. Si se diseña para verano, durante el invierno si se utilizara el sistema captando calor sólo se tendría la contribución sensible.
- La incidencia sobre la carga del calor transferido por los cerramientos opacos es mucho mayor en invierno que en verano.
- La elevada inercia de la solución, conferida por el material PCM, permite la descarga de la energía almacenada días después de la carga. Esto confiere un rango de funcionamiento amplio y adaptable a las limitaciones del recurso renovable. Es decir, ciclos de duración superior a un día reducen la dependencia al recurso renovable (coste inicial (tamaño/acumulación) y aplicabilidad climática).
- El modelo simplificado desarrollado ha permitido demostrar que, por muy mal que se haga, se pueden conseguir ahorros superiores al 50% en la demanda de calefacción. Lo que va a suponer un salto de clase de eficiencia B. Sin embargo, es bastante posible obtener dos saltos y ser un edificio de baja demanda de energía A (casi pasivo).
- Se propone utilizar un único material con cambio de fase alrededor de los 25°C. Para garantizar una transferencia eficaz durante el periodo de activación se propone agua como fluido de trabajo a temperaturas entre 35°C y 50°C. Si se usase aire y debido fundamentalmente a su baja conductividad comparado con la del agua, para lograr la misma tasa de transferencia se necesitarían temperaturas muy superiores que impedirían la utilización racional de fuentes de calor renovables como la solar o la geotermia.

Actualmente se están fabricando dos células experimentales para probar la solución en un torno coherente. A partir de estos resultados experimentales se calibrarán las herramientas de simulación para desarrollar toda la cadena de valor necesaria para la industrialización del producto.

## AGRADECIMIENTOS

Resultados obtenidos en el marco del proyecto INPHASE "Soluciones innovadoras de fachadas prefabricadas de hormigón con PCMS para edificios de consumo de energía casi nulo" financiado por el Ministerio de Economía y

Competitividad, dentro del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016, y ha sido cofinanciado con FONDOS FEDER, con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad.

## REFERENCIAS

- Arce, P., Medrano, M., Gil, A., Oró, E., & Cabeza, L. F. (2011). Overview of thermal energy storage (TES) potential energy savings and climate change mitigation in Spain and Europe. *Applied Energy*, 88(8), 2764–2774. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.067>
- Corgnati, S. P., & Kindinis, A. (2007). Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads. *Building and Environment*, 42(9), 3285–3297. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.018>
- de Gracia, A., & Cabeza, L. F. (2015). Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*, 103, 414–419. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.007>
- *Energy efficiency trends and policies in the household and tertiary sectors. An analysis based on the ODYSSEE and MURE databases.* (2015).
- Heier, J., Bales, C., & Martin, V. (2015). Combining thermal energy storage with buildings – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1305–1325. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.031>
- Henze, G. P., Felsmann, C., Kalz, D. E., & Herkel, S. (2008). Primary energy and comfort performance of ventilation assisted thermo-active building systems in continental climates. *Energy and Buildings*, 40(2), 99–111. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.014>
- Romaní, J., de Gracia, A., & Cabeza, L. F. (2016). Simulation and control of Thermally Activated Building Systems (TABS). *Energy and Buildings*, 127, 22–42. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.057>
- Saelens, D., Parys, W., & Baetens, R. (2011). Energy and comfort performance of thermally activated building systems including occupant behavior. *Building and Environment*, 46(4), 835–848. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.012>
- Salvalai, G., Pfafferoth, J., & Sesana, M. M. (2013). Assessing energy and thermal comfort of different low-energy cooling concepts for non-residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 76, 332–341. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.064>
- Santamouris, M. (2016). Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. *Solar Energy*, 128, 61–94. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.021>

# COMPORTAMIENTO DINÁMICO ESTIVAL DE UN EECN DE ALTA INERCIA TÉRMICA EN CLIMA D3

**Roberto Higuero Artigas**, Profesor Titular de Edificación y Eficiencia Energética, SEAS

**Resumen:** El cambio climático plantea un nuevo escenario en la construcción de EECN. Las cargas de refrigeración y el confort en verano son cada vez más importantes dentro de la planificación de EECN. Desde el análisis del clima, y el comportamiento dinámico de una vivienda EECN, daremos algunas pistas para superar el próximo reto de la construcción EECN, es decir, mantener la eficiencia energética estival durante todo el ciclo de vida del edificio.

**Palabras clave:** EECN, Ficheros Climáticos de Referencia, Análisis Climático Demanda de Refrigeración, Estrategias Pasivas de Refrigeración, Sistemas Activos de Refrigeración, Monitorización, Validación

## INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio dinámico de los edificios EECN, el presente artículo pretende estudiar el comportamiento real del edificio ante el cambio climático global que está generando anomalías térmicas importantes en los climas de interior, en concreto, nos centraremos en climas D3 (según CTE DB-HE). Contextualmente, el estudio de los datos climáticos existentes (aproximadamente de los últimos 35 años, en función del emplazamiento) han permitido generar ficheros climáticos desde los cuáles trabajan los diseñadores y técnicos. Simulan el comportamiento del edificio, para establecer el nivel de eficiencia energética, que teóricamente ha de mantenerse constante durante el ciclo de vida del edificio.

En este artículo se pretende estudiar la relación real entre los ficheros climáticos de diseño, con los datos climáticos reales, y correlacionar estos datos con la monitorización real del clima D3 en los años 2016-2017 y el comportamiento real de un edificio EECN. El objetivo se centra en dos aspectos principales. En primer lugar, se persigue validar anomalías climáticas estivales mediante el estudio de los ficheros climáticos de referencia, datos históricos de los últimos 17 años y datos reales de monitorización climática del emplazamiento. Por otro lado, se busca determinar si los criterios de diseño de edificios EECN están preparados para amortiguar las anomalías térmicas a largo plazo con el objetivo final de garantizar un óptimo comportamiento estival de la eficiencia energética a largo plazo.

## EL PROYECTO

Proyecto de construcción de vivienda unifamiliar situada en Alcañiz (Teruel) de consumo de energía casi nulo EECN, mediante sistema de paneles de encofrado perdido aislante de viruta de madera reciclada aglomerada con cemento. Superficie construida: 199,31 m<sup>2</sup>. Superficie útil a climatizar: 162,30 m<sup>2</sup>.



*Figura 1. Vista Sur-Oeste de la vivienda.*

## Clima del emplazamiento

Tipo D3 (CTE2013). Clima Köppen BSk – Estepario seco. Las precipitaciones están entre un 50% y un 100% de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro. Bajo estas condiciones la vegetación es escasa. Este clima es

conocido en algunas regiones como mediterráneo seco pues es, en muchas ocasiones, un clima de transición entre el Csa (mediterráneo) y el BW (desértico).

## Estrategias de diseño pasivo del edificio

Orientación sur. Captación solar directa. Alta inercia térmica (12 cm de hormigón armado). Alto nivel de aislamiento de la envolvente ( $U_{global} < 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Tratamiento de puentes térmicos. Carpintería de mixta (Madera-Aluminio) con vidrios triples de baja emisividad. Sistema de ventilación mecánica controlada con recuperador de calor. Nivel de estanqueidad al aire de 1 ren/h testado mediante test de estanqueidad Blowerdoor. Protección solar pasiva en huecos sur y oeste. Ventilación cruzada nocturna.

**Nivel global de aislamiento de la envolvente:** Transmitancia térmica media de los huecos:  $1,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Transmitancia global de la envolvente:  $0,282 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Factor de pérdidas total  $185,2 \text{ W/K}$ - La ventilación aporta  $22,9 \text{ W/K}$  (un 12% del total). Los puentes térmicos suponen un 3% de las pérdidas de la envolvente.

**Sistema de ventilación mecánica controlada (VMC):** Sistema de Ventilación Controlada (VMC) de doble flujo con recuperador de calor de la marca SIBER modelo EXCELENT 400+ homologado para vivienda pasivo. Caudal máximo  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Potencia máxima absorbida  $98 \text{ W}$ . Filtros tipo G3.

**Sistema de climatización:** Sistema de climatización para cubrir demanda pico de calor y frío y producción de ACS. Equipo generador mediante bomba de calor aerotérmica marca DE DIETRICH modelo ALEZIO AWHP 8MR-3. Depósito acumulación de ACS de 200 L. Depósito de inercia frío/calor de 100 L. Regulación mediante termostato por planta y electroválvula automática.

## MATERIALES Y MÉTODO

Para monitorización se ha instalado un *logger* de Kintech Engineering modelo EOL Zenith, controlando las siguientes sondas, con lecturas cada diezminutales:

Variables climatológicas: temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y dirección de viento

Variables térmicas internas: 4 zonas de temperatura (una sonda por zona). Zona sur-oeste planta baja, Zona sur P1ª, dormitorio este PB, dormitorio NE P1ª.

- Variables técnicas: Monitorización de temperaturas y consumo energético del recuperador de calor, consumo energético de producción de ACS, lectura de consumos energético de los sistemas activos (BC aerotérmica con depósito de inercia).



Figura 2. Sistema de monitorización.

Para el estudio climático se han utilizado datos climáticos diezminutales de los años 2016 y 2017, datos horarios de los últimos cinco años y datos medios mensuales de la serie 2000-2016 del emplazamiento. Igualmente se ha trabajado con los ficheros climáticos oficiales del CTE según documento de referencia (en adelante *FCR*) y el fichero climático utilizado en el software PHPP de certificación de edificios Passivhaus (en adelante *FCPH*).



## RESULTADOS

### Relativos al clima

En primera instancia, se ha procedido al estudio de los datos climáticos oficiales del emplazamiento, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2016 (en adelante 00-17), con el objetivo de estudiar anomalías climáticas reseñables que justificasen el estudio detallado comparativo de los datos climáticos reales, con los ficheros climáticos de referencia usados en los diferentes softwares de simulación energética de edificios. A continuación, podemos observar los datos relativos a las temperaturas invernales y estivales del periodo estudiado.

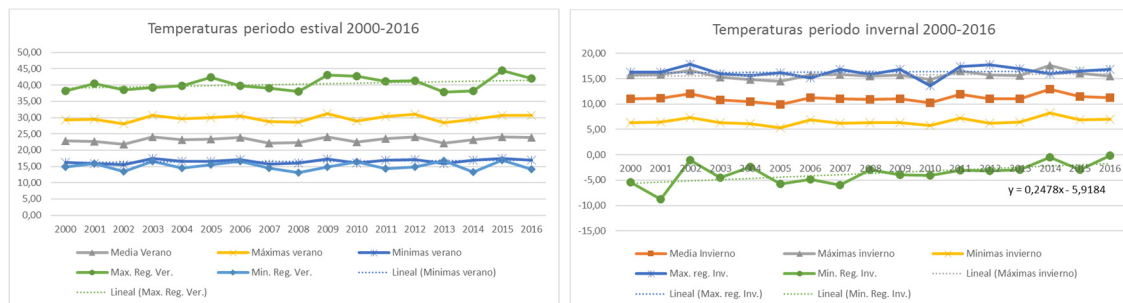


Figura 3. Estudio climático serie 2000-2017 en verano e invierno.

Se observa una anomalía térmica importante en la evolución de las temperaturas máximas registradas en verano (+1,99°C), así como de las mínimas registradas en invierno (+2,09°C). Las anomalías quedan más armonizadas en las medias, con +0,78°C en verano y +0,66°C en invierno. Igualmente se han estudiado, en el mismo periodo, frecuencias de precipitaciones, días de lluvia, días con niebla y días de tormenta, obteniendo los siguientes resultados (Ver *Discusiones y Conclusiones*):

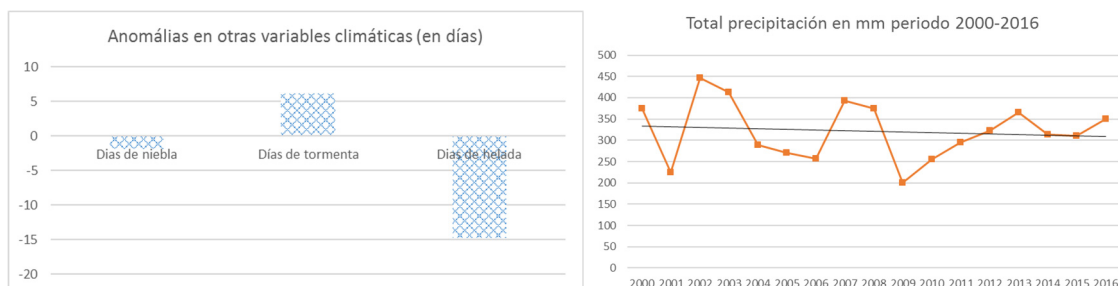


Figura 4. Otras variables climáticas 2000-2017.

En la segunda fase de esta investigación se han tratado los datos diezminutales, fruto del monitoreo de las variables climáticas del emplazamiento (en adelante MON). Se ha procedido a la comparativa de estos datos con las siguientes series: MON – Fichero climático real monitoreado; FCR – Fichero climático de referencia; FCPH – Fichero climático Passivhaus Institut; 00-17 – Fichero climático años 2000-2017. Los resultados de anomalías térmicas entre los ficheros se muestran en la Figura 5 (Ver *Discusiones y Conclusiones*). Cabe resaltar que la serie climática MON al tratarse de un periodo de tiempo corto, está sujeta a anomalías climáticas de corto plazo. Como podemos ver en la gráfica 6, el mes de junio ha presentado una gran anomalía térmica, especialmente si se compara con el fichero FCR (+3,66°C), +0,85°C con 00-17.

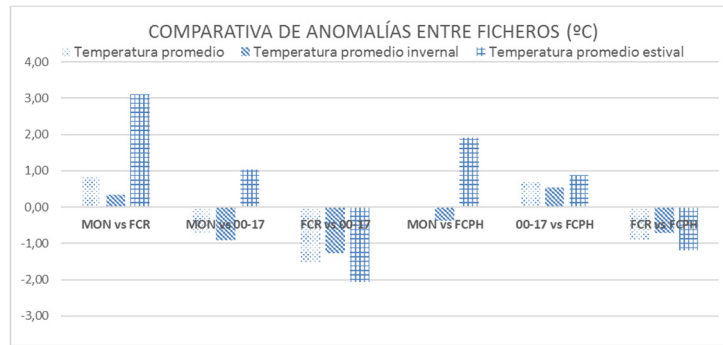


Figura 5. Anomalías térmicas entre ficheros climáticos.

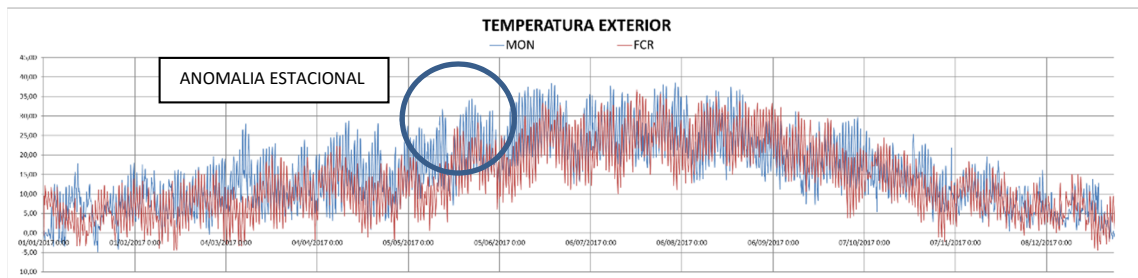


Figura 6. Comparativa de perfiles entre el fichero MON y FCR.

### Comportamiento dinámico del edificio

En el segundo bloque de esta investigación, se ha estudiado el comportamiento dinámico del edificio. Con los datos extraídos de la monitorización (datos climáticos correspondientes al fichero *MON*), se ha estudiado la respuesta del edificio ante anomalías climáticas estivales (han existido anomalías invernales, pero no se representan en el estudio, por ser de menor entidad y, además, contribuir a una mejor respuesta térmica del edificio). A continuación, se establecen los perfiles de temperatura para los meses de junio, julio y agosto de 2017:

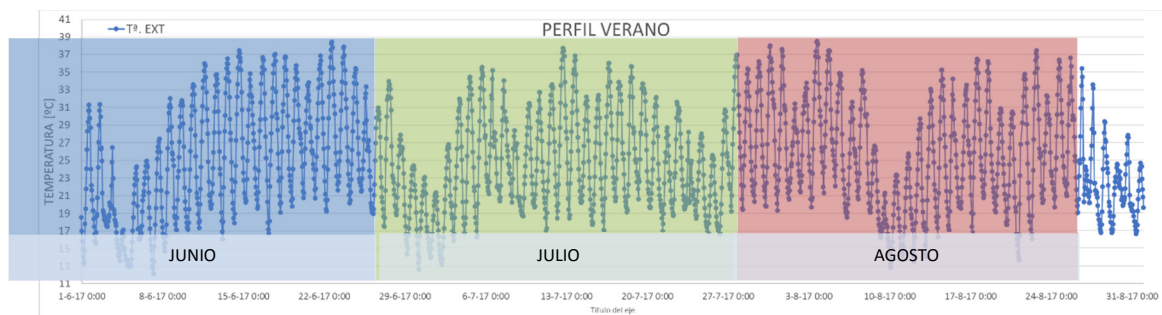


Figura 7. Perfil de temperatura exterior, en °C, para el verano 2017.

La temperatura exterior para el verano ha seguido perfiles similares para los tres meses de verano, siendo lo más reseñable el mes de junio, que ha tenido la misma temperatura media que agosto 24,7°C, mientras que en julio se han registrado 25,35°C.

A continuación, se muestran los perfiles de temperatura interior de la vivienda para los mismos meses que la figura anterior:

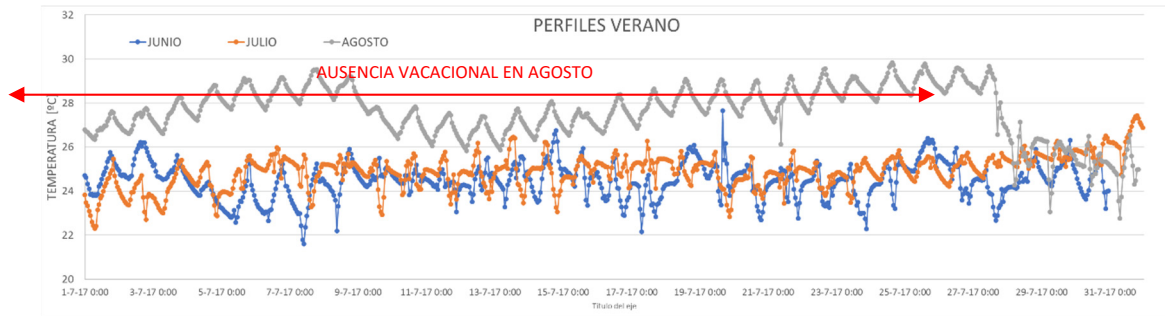


Figura 8. Perfil de temperatura interior media en °C para el verano 2017.

En los meses de junio y julio, se han mantenido las condiciones de confort interior en la vivienda mediante la aplicación de la ventilación VMC, y el control de la inercia mediante la ventilación cruzada. Igualmente se ha hecho un uso correcto de las protecciones solares, especialmente en los huecos oeste. Por ello el porcentaje de tiempo fuera de confort (>26°C) ha sido del 7,3% en junio y del 2,6% en julio.

El 30 de julio la vivienda queda vacía por periodo vacacional. Se deja encendido únicamente la VMC con recuperación de calor y *by-pass* automático en verano. Encontramos un calentamiento progresivo de la vivienda, en los posteriores 3 días al inicio de las vacaciones, pasando de los 24,5°C interiores a una temperatura media de 27,6°C que se mantendrá durante todo el periodo de ausencia. Cabe resaltar que la temperatura máxima registrada en este periodo ha sido de 28,5°C.

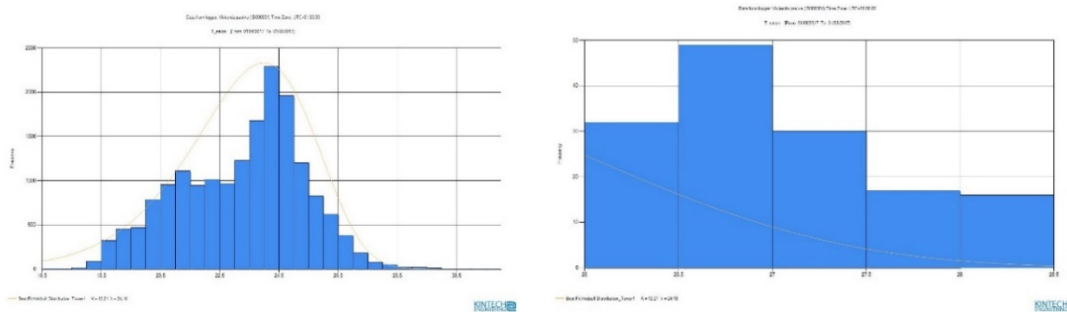


Figura 9. Distribución de temperatura interior en verano – Temperatura interior en agosto.

Los consumos de energía monitorizados se han adaptado a los perfiles de temperatura y uso de la vivienda durante el verano, siendo preciso el uso de un sistema activo de refrigeración para mantener la temperatura de confort interior del edificio en los periodos de ocupación.

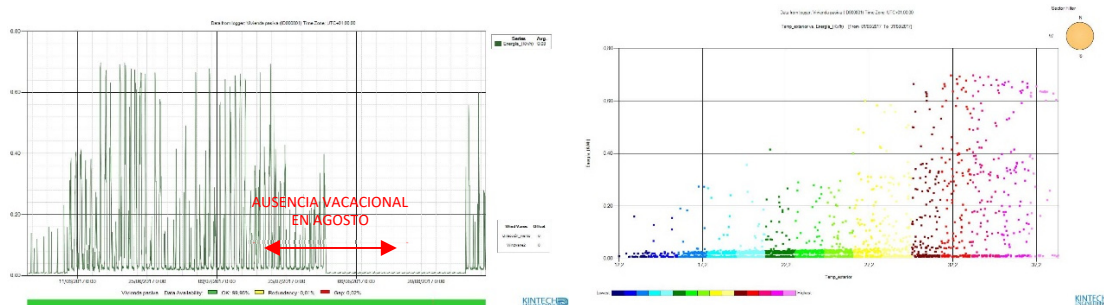


Figura 10. Distribución del consumo de energía en los meses de verano. Correlación entre temperatura exterior y consumo de energía.

La demanda de energía refrigeración del edificio en modo refrigeración ha sido de 11,77 kWh/m<sup>2</sup>a, que puede considerarse dentro de los valores de demanda en estándares de construcción de EECN en países de nuestro entorno. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el periodo vacacional hubiese supuesto añadir en torno a 5 kWh/m<sup>2</sup>a, son los que se superaría dichos límites (>17 kWh/m<sup>2</sup>a).

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

### *Conclusiones al estudio de ficheros climáticos*

- Se constata que los datos climáticos reales ofrecen un escenario a medio plazo, de calentamiento tanto estival como invernal, con temperaturas máximas y mínimas más extremas, especialmente en verano, donde las olas de calor son más intensas y más prolongadas en el tiempo.
- En otros fenómenos climáticos, se observa principalmente un descenso de días de heladas, un descenso moderado en los días de nieblas, y un aumento importante de los días de tormenta (en relación con el aumento de temperaturas máximas registradas).
- Los últimos años son más húmedos de media, pero con periodos prolongados de sequía seguidos de estaciones cortas de alta pluviometría.
- El fichero climático MON ha resultado ser más cálido que el resto de ficheros. Se trata de una serie anual por lo que está sujeta a anomalías climáticas de corta duración (p.e mes de junio).
- El fichero climático de la serie 00-17, resulta 1,45°C más cálido que los FCR y FCPH, con una anomalía de 1,17°C en invierno y 1,90°C en verano. El FCPH resulta el más armonizado con la serie 00-17 con una anomalía de -0,67°C y de 0,54°C para el invierno y de -0,87°C para el verano.
- Los FCR resultan muy conservadores en comparación con el resto de ficheros especialmente en los meses estivales.
- El cambio climático se muestra patente en este estudio, lo que nos permite establecer un escenario a medio plazo, de condiciones climática cada vez más duras para los meses de verano, con valores medios muy por encima de los reflejados actualmente en los ficheros climáticos de simulación.

### *Conclusiones a la respuesta dinámica del edificio*

- En un escenario a largo plazo, y debido al incremento de la temperatura, las olas de calor y los elevados valores medios de las mínimas, será preciso revisar los ficheros climáticos de referencia para ayudar a los proyectistas en fase de diseño, a calibrar de forma correcta la incidencia de la refrigeración en los edificios.
- Queda validado que un clima tipo D3 o cálido templado, precisa de un sistema activo de refrigeración para mantener las condiciones de confort interior.
- Las estrategias pasivas para prevenir el sobrecalentamiento han de aumentar su importancia dentro del programa de toma de decisiones en fase de proyecto. El control solar en los acristalamientos, de forma conjunta de la protección solar, así como desarrollo de sistemas eficientes de ventilación y control de humedad interior, serán la piedra angular del diseño de edificios EECN en los próximos años.

## RECONOCIMIENTOS

A la empresa KINTECH ENGEREERING y en particular a su gerente Íñigo Vázquez, que nos ha dado acceso a los materiales y software necesarios para la monitorización del edificio.

## REFERENCIAS

- Directiva 2010/31/UE del 19 de mayo de 2010 relativa la eficiencia energética de los edificios. CTE DB-HE Ahorro de energía. Documentos formativos estándar Passivehaus. Conferencias y manual del software PHPP 2007. Artículo “Mucho cuidado con los datos de referencia del nuevo HE” por German Campos.

## EL RETO: MEJORAR LA EFICIENCIA EN EL SECTOR HOTELERO

**José Antonio Díaz**, Adjunto Dirección Solution Business, Daikin AC Spain

**Resumen:** En el sector hotelero los costes energéticos generalmente representan entre el 5% y el 10% de los costes totales de explotación de los establecimientos. Un valor que puede sufrir variaciones en función de las características y las instalaciones del complejo. Por ejemplo, oscila entre un 4-5%, en el caso de hoteles que cuentan sólo con consumos básicos (iluminación, agua caliente sanitaria y calefacción) y puede alcanzar un 25% en el caso de hoteles con piscina climatizada, SPA o cocina. Ante este panorama se hace imprescindible la búsqueda e implantación de sistemas eficientes capaces de cubrir las necesidades de las distintas partes implicadas asegurando en todo momento el mayor confort de los huéspedes. Con este objetivo, reducir el consumo energético y mejorar el confort, el hotel Barceló Emperatriz de Madrid ha puesto en marcha recientemente un plan de eficiencia energética con el que pretende conseguir un ahorro de hasta un 20% en agua, un 70% en gas y un 25% en consumo eléctrico.

**Palabras clave:** Hotel, Eficiencia, Climatización, Remodelación

### EL PROYECTO

El Hotel Barceló Emperatriz, situado en pleno barrio de Salamanca, junto al Paseo de la Castellana y la calle Serrano, cuenta con 146 habitaciones, 2 salas de reuniones, gimnasio y un restaurante.

Todas las estancias del hotel han sido diseñadas cuidando la tradición, pero a su vez incorporando la última tecnología para ofrecer al cliente el nuevo concepto “B-Room”, entendido por la firma hotelera como máximo estándar de calidad y comodidad.



*Figura 1. Fachada del Hotel Barceló Emperatriz.*

El plan de eficiencia energética del hotel demandaba una solución de climatización independiente por planta, con alta eficiencia energética para permitir reducir los consumos energéticos según el plan acordado y silencioso en su funcionamiento para evitar molestias durante la operación en horario nocturno sobre todo para permitir el descanso de los usuarios de las habitaciones. Además, debía ser capaz de garantizar el confort de los clientes en cuestión de rapidez a la hora de climatizar las habitaciones de este exclusivo hotel.

Se analizaron sistemas de agua y expansión directa y finalmente se escogió un sistema de expansión directa con recuperación de calor. De este modo se conseguía satisfacer las necesidades anteriormente descritas, además de utilizar diámetros de tubería menores que los sistemas de agua. En este caso, al ser una reforma, era complicado atravesar algunas zonas del hotel por lo que el tamaño de las tuberías pasó de ser un requisito deseable a imprescindible a la hora de poder ejecutar el proyecto.

Así pues, se abastecerá de frío, calor y agua caliente sanitaria mediante sistemas de Volumen de refrigerante Variable, o mejor dicho, Caudal de refrigerante Variable.

## Funcionamiento del Sistema

Recordando brevemente el funcionamiento de los sistemas VRV, podemos mencionar que se componen de unidades interiores que incorporan válvulas de expansión electrónicas, esto permite el control individual de la potencia frigorífica/calorífica en función de la demanda de cada zona a la que abastecen. De esta forma la unidad exterior regulará la capacidad del compresor dependiendo de la información que reciba de cada una de las interiores.

Creemos más interesante en este caso explicar la función de recuperación de calor y más en concreto la aplicación para ACS. Cuando todas las unidades están demandando calor, la unidad exterior proporciona, directamente refrigerante en estado gas alta temperatura (salida del compresor) hacia las unidades interiores.

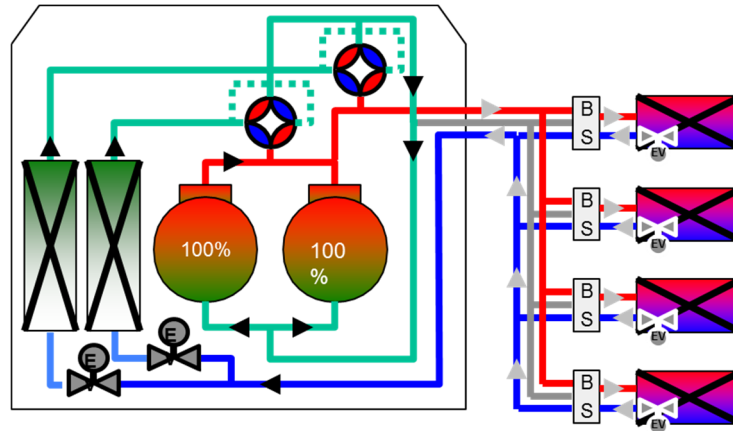


Figura 2. Sistema VRV en funcionamiento todo frío.

Es en el momento en que las necesidades de frío y calor de las unidades interiores son diferentes cuando se realiza la recuperación de calor por trasvase directo de refrigerante, aumentando así su rendimiento global.

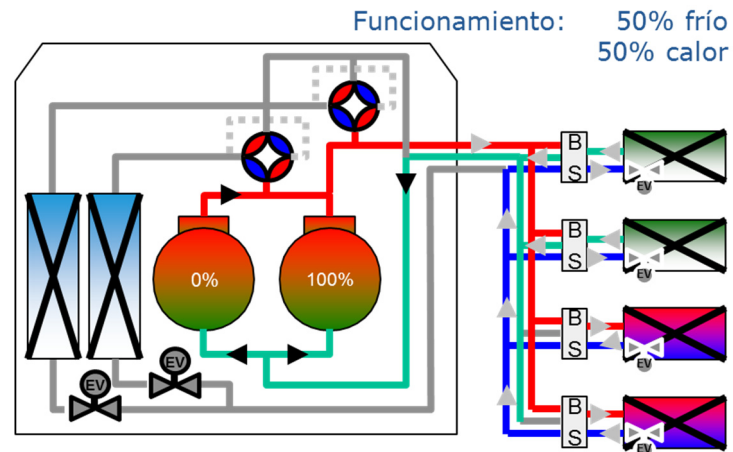


Figura 3. Sistema VRV en funcionamiento simultáneo frío/calor.

En este caso el refrigerante en estado líquido a alta presión que sale de las unidades en modo calefacción entra directamente en las unidades con necesidad de frío, por lo que no es necesario que los compresores estén funcionando para proporcionar esa potencia, aumentando así la eficiencia y permitiendo la producción de ACS en cualquier momento.

La potencia total aportada es del 100% (50% en modo frío y 50% en modo calor) y el consumo de compresores es la mitad que cuando funcionan todas en calor. De esta manera los rendimientos se duplican con respecto al nominal. Si

tenemos en cuenta que los rendimientos nominales del sistema VRV se encuentran en valores superiores a 4 por lo que en los casos de recuperación puede superar el valor de 7 u 8.

Esta circunstancia viene recogida en las guías del IDEA como se puede ver en la figura:

Guía técnica

Ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización

VALORES COEFICIENTES EER/COP A DIFERENTES SITUACIONES DE FUNCIONAMIENTO. RELACIÓN CONEXIÓN 110%

Modo de operación		Pot Refrig (kW)	Pot Calif. (kW)	T <sup>3</sup> Exterior (°C)	T <sup>3</sup> Interior (°C)	EER	COP
100% Refrigeración	0% Calefacción	28,50	0,00	35	27/22	3,99	0,00
25% Refrigeración	75% Calefacción	7,06	21,49	7	27/22	6,01	
				11		6,35	
				15		6,62	
50% Refrigeración	50% Calefacción	12,49	14,70	7	27/22	7,52	
				11		7,87	
				15		8,29	
75% Refrigeración	25% Calefacción	20,26	7,23	7	27/22	8,39	
				11		7,94	
				15		7,44	
0% Refrigeración	100% Calefacción	0,00	32,40	7	27/22	0,00	4,24

Figura 4. Guía técnica IDAE.

En concreto, para este proyecto, se ha instalado un sistema VRV de Recuperación de Calor compuesto por 16 unidades exteriores, 167 unidades interiores de conductos de altura reducida y producción de ACS mediante 8 unidades capaces de producir agua hasta 80°C.

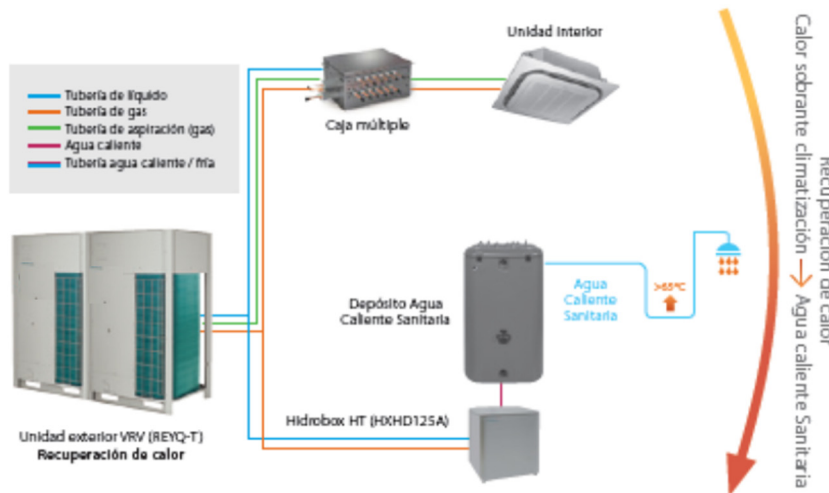


Figura 5. Esquema de una unidad exterior VRV conectada a unidades interiores de VRV (habitaciones) y cajas hidráulicas (hidrobox) de generación de ACS con producción hasta 80°C.

## Producción de ACS: Necesidades y Propuesta

Para el estudio en cuestión se han tomado los siguientes datos:

- **Edificación:** Hotel 5 estrellas, con una ocupación de 188 personas.
- **Ubicación:** Madrid capital (Zona Climática IV establecida por el CTE HE-1 Apéndice B.1).
- **Estimación consumo:** 69 litros/día\*persona a 60°C establecido por el CTE HE-4 Art.4.1 para hoteles de 5 estrellas.

#### 4.1 Cálculo de la demanda

- 1 Para valorar las demandas se tomarán los valores unitarios que aparecen en la siguiente tabla (Demanda de referencia a 60 °C).

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C<sup>(1)</sup>

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona

Figura 6. Cálculo de la demanda ACS.

- Consumo total estimado día: 12.972 litros/día.
- Cobertura mínima: El CTE HE-4 Art.2.2.1 determina que para una demanda total de ACS mayor a 10.000 l/d en una zona climática IV se debe cubrir como mínimo un 70% de la demanda de ACS.

Tabla 2.1. Contribución solar mínima anual para ACS en %.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

Figura 7. Cobertura Mínima.

Con estas premisas las necesidades energéticas son:

NECESIDADES ENERGÉTICAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Salto térmico (°K)	52	52	50	48	46	43	40	41	43	47	50	52	47
Consumo ACS a 60°C (l/mes)	402.132	363.216	402.132	389.160	402.132	389.160	402.132	402.132	389.160	402.132	389.160	363.216	4.734.780
Necesidades ACS ( kWh )	24.315,0	21.961,9	23.379,8	21.720,6	21.509,4	19.458,0	18.703,8	19.171,4	19.458,0	21.977,0	22.625,6	24.315,0	258.595,3
Necesidades calefacción ( kWh )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total necesidades ( kWh )	24.315,0	21.961,9	23.379,8	21.720,6	21.509,4	19.458,0	18.703,8	19.171,4	19.458,0	21.977,0	22.625,6	24.315,0	258.595,3

Figura 8. Necesidades energéticas anuales.

El sistema VRV para ACS aúna los altos COPs propios de una bomba de calor (superiores a 4), así como la recuperación de calor cuando las unidades de climatización trabajan en modo refrigeración. En este caso se condensa el calor sobrante sobre el módulo hidrónico, transfiriendo el calor de las estancias al sistema de ACS. En estas circunstancias (verano), el rendimiento del sistema supera ampliamente el nominal citado.

En el caso que nos ocupa, se plantea una instalación con una potencia aproximada instalada de 621,6kW (2 unidades de 56kW, 1 unidad de 45 kW, 2 unidades de 33,5kW, 3 unidades de 28kW y 14 unidades de 22,4kW).

Suponiendo la instalación a pleno rendimiento (100%), los **621,6kW** frigoríficos entregados más el trabajo del compresor (suponemos un 25% del frío producido) habrá que disiparlos a la atmósfera. Con el sistema que se propone recuperamos ese calor y lo aprovechamos para suministrar el ACS.

En la siguiente Tabla se presenta mes a mes el porcentaje de tiempo estimado en cada modo de funcionamiento (refrigeración o calefacción) del sistema. Se producirá la recuperación de energía para ACS cuando el sistema esté funcionando en refrigeración:



	PORCENTAJE FUNCIONAMIENTO											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Funcionamiento Calefac. (%)</b>	90	90	70	40	0	0	0	0	20	40	70	100
<b>Funcionamiento Refrig. (%)</b>	10	10	30	60	100	100	100	100	80	60	20	10
<b>Recuperación ACS (%)</b>	10	10	30	60	100	100	100	100	80	60	20	10

Figura 9. Porcentaje funcionamiento en modo frío/calor.

Tal y como se muestra en la anterior Tabla, se recuperará calor para ACS cuando se está aportando refrigeración. En la siguiente Tabla se establece un perfil de demanda de refrigeración típico para Madrid:

PERFIL DIARIO FUNCIONAMIENTO EN REFRIGERACIÓN											
ENE (10%)		FEB (10%)		MAR (30%)		ABR (60%)		MAY (100%)		JUN (100%)	
NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA
1	25	1	25	1	50	1	85	1	100	2	100
1	10	1	10	2	25	4	70	7	70	6	70
-	-	-	-	4	10	5	40	4	40	4	40
-	-	-	-	-	-	4	5	12	5	12	5

PERFIL DIARIO FUNCIONAMIENTO EN REFRIGERACIÓN											
JUL (100%)		AGO (100%)		SEP (80%)		OCT (60%)		NOV (20%)		DIC (10%)	
NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA	NÚM. HORAS día	% CARGA
2	100	2	100	2	85	1	85	1	30	1	25
6	70	6	70	5	70	4	70	1	20	1	10
4	40	4	40	5	40	5	40	1	10	-	-
12	5	12	5	7	5	4	5	-	-	-	-

Figura 10. Perfil de demanda de refrigeración típico para Madrid.

Con este perfil de demanda, en la siguiente Tabla se presenta la energía recuperada y la cobertura mensual de ACS:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Nov	Dic	Total
Recuperación kWh	8.430	7.615	33.722	136.364	195.105	195.804	202.331	202.331	175.991	140.909	13.986	8.430	1.321.017
Demanda ACS kWh	24.315	21.962	23.380	21.721	21.509	19.458	18.704	19.171	19.458	21.977	22.626	24.315	258.596
Aportación para ACS kWh	8.430	7.615	23.380	21.721	21.509	19.458	18.704	19.171	19.458	21.977	13.986	8.430	<b>203.837</b>

Tabla I. Energía recuperada y la cobertura mensual de ACS.

De esta forma, el total de energía recuperada “gratuita” es de 203.837 kWh/año.

Eso supone un 78% de energía gratuita para el ACS. Estimando un precio de 0,16€ por kWh, supone más de 32.000€ que no tendrá que pagar el hotel para la generación de ACS.

### **Sistema de Control de Mantenimiento Preventivo (Control total 24x7x365)**

Una vez superado el reto inicial de elegir el sistema más eficiente de climatización con la elección de VRV de Recuperación de Calor, el siguiente compromiso era el de asegurarse que el sistema funcionara en todo momento con las especificaciones correctas y garantizara eficiencia óptima a largo del ciclo de vida de los equipos. Para ello, la instalación fue dotada de un Sistema de Gestión central por ordenador, conectado al sistema de control de los servicios de monitorización/telemantenimiento, lo que permite garantizar una continuidad total de la actividad del hotel.

### **Monitorización de Energía y Correctivo**

Además, una herramienta inteligente de visualización de la energía ayuda al Hotel Barceló Emperatriz a mejorar la gestión del complejo hotelero salvaguardando el funcionamiento óptimo del sistema de aire acondicionado durante toda su vida. De esta manera se podrá comparar con respecto al sistema antiguo para ver si la reducción de consumo planteada está yendo tal y como se esperaba.

Esta supervisión detecta cualquier alteración y minimiza el riesgo de averías inesperadas gracias al uso de algoritmos de predicción que comprueban los datos de funcionamiento 24 horas al día, 7 días a la semana.

Igualmente, ante una alarma, el gestor de servicio recibe la notificación de forma inmediata con toda la información necesaria para dar una respuesta rápida al hotel.

### **Otras mejoras implementadas en el plan de Eficiencia Energética**

Para completar el plan de eficiencia energética, el Hotel Barceló Emperatriz incorporó otras mejoras en el tratamiento de agua y energía eléctrica, entre ellas, un sistema de reciclaje de aguas grises que le permite reutilizar las aguas jabonosas de las bañeras, duchas y lavabos, gracias a un sistema de filtrado.

Igualmente, para minimizar el consumo eléctrico, todo el hotel cuenta con tecnología led para el alumbrado además de sensores de presencia en todas las zonas para apagar luces cuando no hay presencia de personal o clientes.

Con estas y otras medidas el hotel pretende conseguir un notable ahorro de hasta un 20% en agua, un 70% en gas y un 25% en consumo eléctrico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al hotel Barceló Emperatriz la posibilidad tanto de participar en el proyecto de rehabilitación de sus instalaciones, como el permitirnos publicitar su plan de eficiencia.

# ESTRUCTURAS QUE RESPIRAN, CÓMO REDUCIR UN 20% EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EDIFICIOS INTEGRANDO LA ESTRUCTURA Y LAS INSTALACIONES EN EECN

**Alberto Alarcón García**, Profesor de Innovación y Sostenibilidad, ETSAG (UAH)

**Resumen:** Normalmente, las instalaciones se ubican sobre o bajo la estructura horizontal, ocupando entre el 5 y el 25% de la altura del edificio. Integrando las instalaciones (calefacción, refrigeración, ventilación...) a través de una estructura aligerada y perforada se obtienen ahorros energéticos y económicos. Al disminuir la altura total integrando estructura e instalaciones, se reducen pilares, muros y fachadas, ahorrando consumos de hormigón, acero estructural y elementos constructivos. Durante la vida útil se reduce el volumen a climatizar, la estructura perforada se activa térmicamente y, gracias a su mayor superficie de intercambio térmico y su inercia, se aumenta la eficiencia energética del edificio. Empleada como plenum, la estructura respira.

**Palabras clave:** Estructura, Instalaciones, Integración, Inercia Térmica, Recuperadores de Calor, Ventilación

## INTRODUCCIÓN

Desde que las instalaciones han pasado a suponer un aspecto fundamental del proyecto contemporáneo, con una importante presencia en el presupuesto global del edificio, y en la volumetría general del edificio, los diseñadores han tratado de integrarlas al máximo en el edificio haciéndolas coincidir con otros elementos arquitectónicos como estructura y cerramientos.

Esta integración no solamente ofrece un gran campo de posibilidades de diseño, sino que permite bajar considerablemente la altura total por planta, reduciendo el impacto de la edificación durante su proceso de construcción, sino que durante la vida útil del edificio la energía necesaria es menor, adecuándose a los requisitos NZEB y permitiendo la integración con estrategias sostenibles como la activación térmica y la ventilación mediante sistemas de recuperadores térmicos de aire.



Figura 1. a) Estructura interna de hueso-b) tendido de instalaciones en el suelo de un avión-c) Forjado de hormigón con instalaciones integradas en Art Gallery en Yale de Louis Kahn.

## La evolución en la integración de la estructura y las instalaciones

Ya en las termas romanas en el Caldarium se disponían conducciones de aire caliente en suelo y paredes con tecnologías como el Hipocausto, pero no es hasta la aparición de los sistemas de climatización artificial mecánica y los tendidos eléctricos intensivos cuando la distribución horizontal de las instalaciones pasa a ocupar un espacio importante en la sección del edificio.

Muchas de estas integraciones de instalaciones y suelos fueron experimentadas en barcos y aviones, donde el control de los elementos mecánicos es un aspecto fundamental de su funcionamiento. También es interesante en este sentido referencias de la naturaleza como la estructura esponjosa de los huesos atravesadas por “instalaciones” como nervios y vasos sanguíneos.

Los ejemplos más interesantes en el siglo XX se refieren a edificios de grandes luces y gran canto. Al adoptar soluciones con secciones importantes de estructura y alto nivel de instalaciones se imponen soluciones ligeras como estructuras trianguladas de acero (Centro Pompidou de Rogers y Piano, General Motors de Eero Saarinen, Lake Grove Village en

Michigan). También se desarrollan otras tecnologías en este sentido en hormigón como el Art Gallery de Yale de Louis Kahn.

En el panorama contemporáneo aparecen soluciones de integración de instalaciones como vigas de acero perforadas, losas con conducciones registrables longitudinales (in situ y en placas alveolares) o el sistema de forjados de hormigón perforado en todas direcciones como la patente Holedeck. Se está también trabajando con soluciones en madera trianguladas que también permiten el paso de instalaciones.

## Las ventajas EECN de la integración durante la construcción del edificio

Al hacer coincidir estructura e instalaciones que normalmente aparecen superpuestas, la sección total del mismo se reduce de forma significativa (en edificios de oficinas entre 35 y 70 cm. que puede suponer entre el 15 y 25% de la sección total del edificio). Las lógicas ventajas económicas se transforman también en ventajas desde el punto de vista EECN.

### *Reducción de altura y de elementos constructivos verticales*

Al reducir la altura de cada planta en el mismo volumen edificado, podemos obtener más plantas, siendo necesario menos elementos constructivos verticales como fachadas, muros, pilares o cerramientos interiores.



Figura 2. Estructura tipo Holedeck H45 sobre la que se apoyan directamente las instalaciones sin necesidad de falso techo.

### *Eliminación de falsos techos y suelos técnicos*

Con un sistema de instalaciones accesibles desde la parte inferior o superior de la estructura se pueden eliminar totalmente las capas adicionales de suelo y techo, favoreciendo la higiene, registrabilidad y transformabilidad de todos los sistemas de instalaciones del edificio.

### *Optimización o reducción del uso del material estructural*

Al poder disponerse de más canto para la estructura al compartirse éste con las instalaciones y por lo tanto aumentarse el momento de inercia estructural se puede reducir de forma significativa el uso de material, tanto para soluciones de acero, hormigón o madera.

## Las ventajas EECN de la integración durante la vida útil del edificio

### *Reducción del volumen a climatizar*

Al reducirse la altura de cada planta el volumen de aire a climatizar es menor y la energía necesaria se reduce en una proporción similar a la que se reduce la altura del edificio.

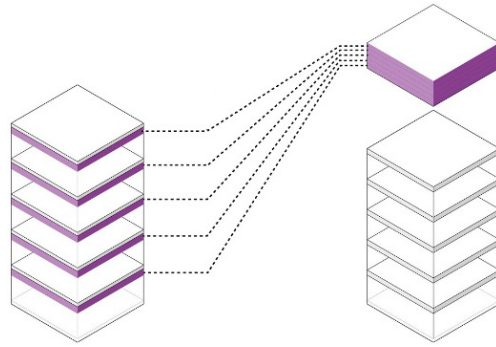


Figura 3. Posibilidad de obtener una planta extra cada 5 agrupando el espacio de instalaciones recuperado.

#### Activación térmica de la estructura e inercia térmica

En el caso de estructuras de alta inercia térmica como los forjados de hormigón con perforaciones la superficie de contacto con el aire es mayor que una losa convencional, por lo que el intercambio térmico entre la masa de la estructura y el aire se desarrolla de una forma más eficiente, sobre todo en el caso de que la circulación del aire se realice mediante plenum.

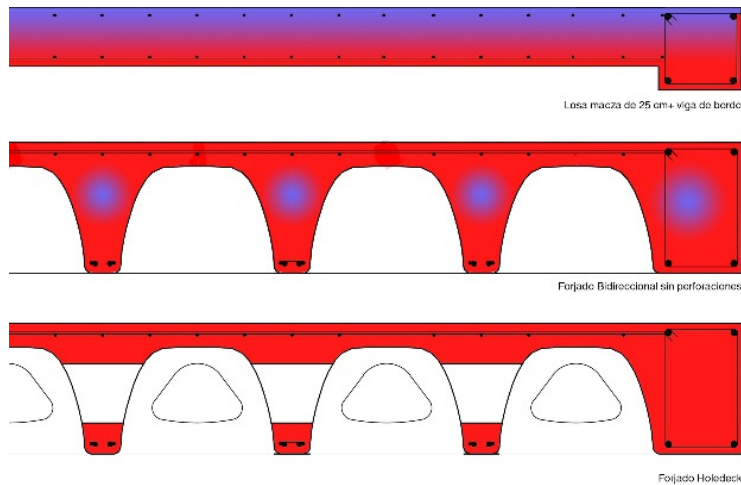


Figura 4. La morfología de los forjados con perforaciones permite un uso más eficiente del material por el significativo incremento de la superficie de hormigón en contacto con el aire.

#### Integración de la estructura con sistemas de ventilación y recuperadores

En los EECN o Passivhaus, ya sea vivienda o usos terciario el uso de recuperadores de calor se ha impuesto como sistema de optimización energética, siendo necesario la implementación de una red de conductos con aire de impulsión y de retorno que hace necesaria la instalación de falsos techos descolgados. En una solución integrada estos conductos pueden disponerse en el interior del forjado a través de las perforaciones del mismo, permitiendo sustanciales ahorros de altura y facilitando el montaje y transformación de su trazado.

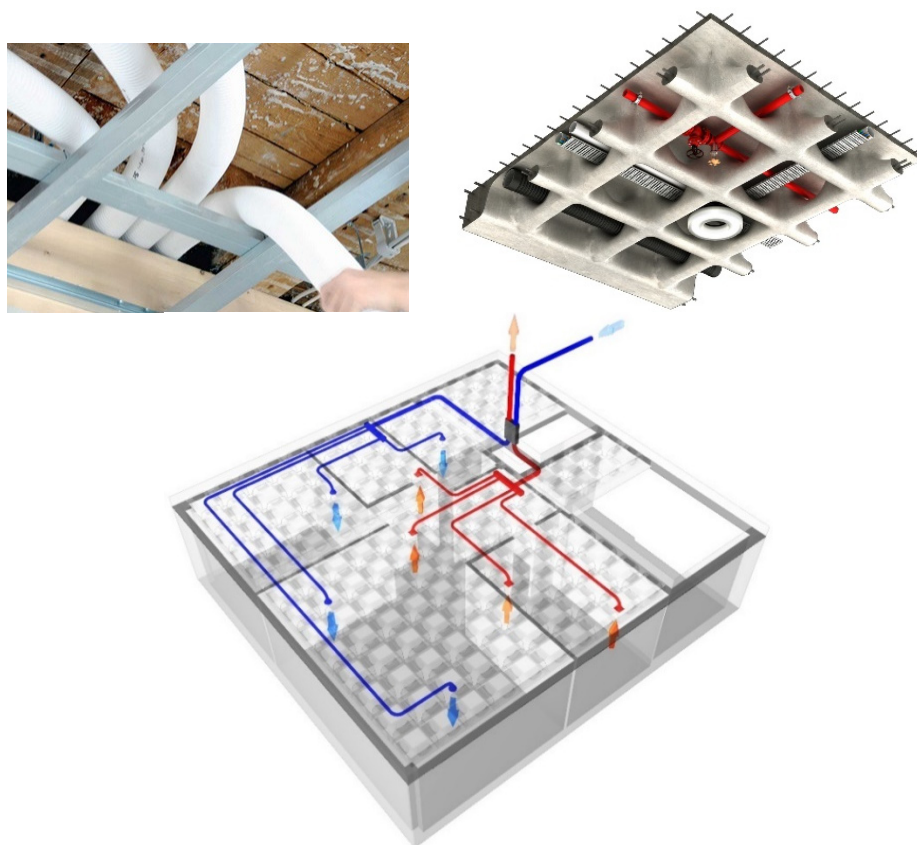


Figura 5. Ejemplo de vivienda NZEB Holedeck en el empleo de forjados con perforaciones permite la integración de los conductos de ventilación del sistema de recuperación, no haciendo necesario el empleo de falsos techos descolgados (imagen superior).

La transformación del uso y la disposición de las instalaciones se puede desarrollar de una forma más rápida y eficiente, aumentando significativamente la vida útil del edificio.

## Recomendaciones de diseño para integrar estructura e instalaciones

Aunque la integración de estructura e instalaciones se puede efectuar en cualquier momento del proceso de diseño, se ofrecen algunas recomendaciones de partida para el diseño.

- La integración de la estructura y las instalaciones es más eficiente si se tiene en cuenta desde las primeras fases de diseño, además muchas de estas instalaciones pueden dejarse expuestas y registrables.
- Puede aprovecharse también la posibilidad de incorporar nuevas plantas o reducir el volumen total del edificio configurando la geometría y apariencia del edificio.
- Prever desde el principio el recorrido de las instalaciones tanto vertical como horizontal. En edificios de gran superficie es aconsejable zonificar horizontalmente las instalaciones de aire para evitar los descuelgues de los conductos principales.
- Aunque la integración se realice partiendo de un diseño previo ya terminado, en un modificado que integre estructura e instalaciones se pueden obtener ventajas como el aumento de la altura útil, disposición más sencilla de las instalaciones o reducción de elementos constructivos y materiales estructurales.

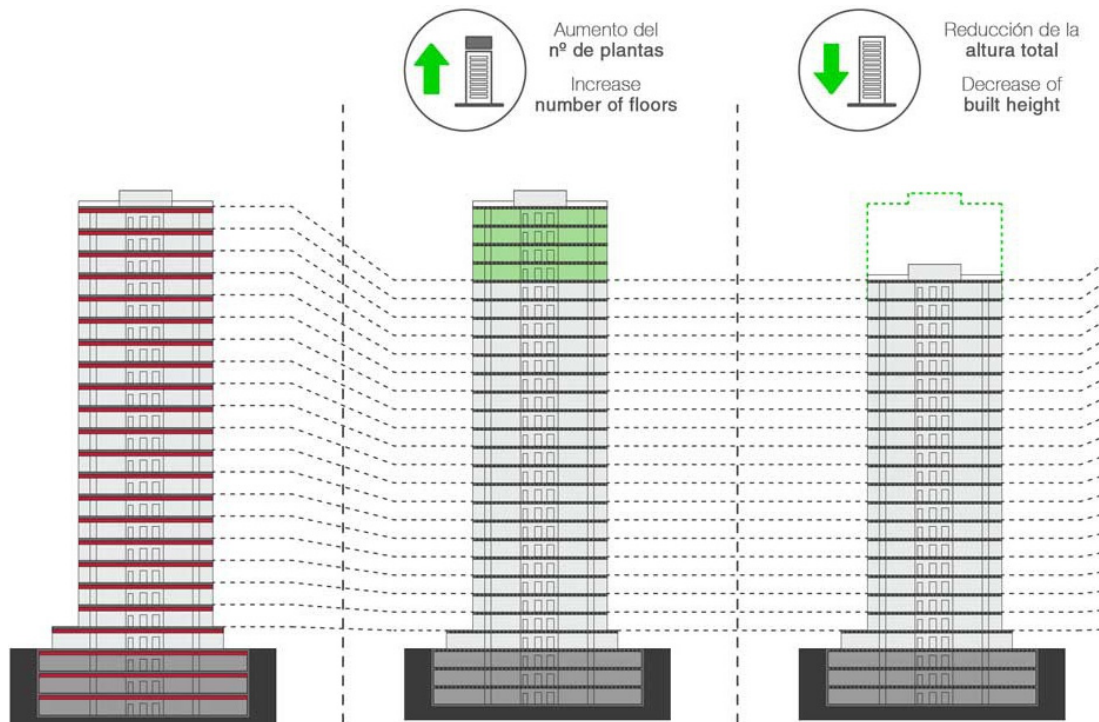


Figura 6. Posibilidades de diseño integrando la estructura y las instalaciones.

## Cuantificación de la reducción de los consumos energéticos del edificio

Las ventajas de la integración de la estructura y las instalaciones va a depender de diversos parámetros como el uso del edificio, luces entre pilares, solución estructural de partida y los requerimientos de instalaciones. Por lo tanto, se hace necesario un estudio particularizado de cada caso para determinar la solución más adecuada.

En general se puede afirmar que la integración de la estructura y las instalaciones siempre tiene ventajas desde el punto de la sostenibilidad independientemente de las condiciones de partida. Para establecer una valoración de las reducciones de consumo energético de un edificio integrado se plantea como la comparación con un diseño de partida de referencia que no integra estructura e instalaciones.

Como ejemplo se ha partido de un edificio convencional de oficinas que parte con una estructura de vigas y losas y se plantea la comparación con un edificio de instalaciones y estructura integrada Holedeck 45.

Se parte de precios de la base de datos del Itec , que además permite la valoración de las emisiones de carbono .

El ejemplo consiste en un edificio convencional de oficinas para el que se obtiene un ahorro de altura del 12%. En edificios de oficinas de mayor canto estructural y de instalaciones se pueden obtener ahorros de altura del 20%.

Como puede observarse muchas de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vida del edificio se producen durante la construcción del edificio. El edificio del ejemplo tiene una calificación tipo C, por lo que los ahorros energéticos durante la vida útil son los más importantes. En edificios NZEB más eficientes energéticamente, los ahorros más importantes de emisiones de CO<sub>2</sub> se producen durante el proceso de construcción.

DATOS DE PARTIDA EDIFICIO DE REFERENCIA		MEDIDA	
1	NUMERO DE PLANTAS PROYECTADAS	Ud.	17,00
2	SUPERFICIE CONSTRUIDA PLANTA TIPO	m2	2066,00
3	PERIMETRO DE FACHADA POR PLANTA	m	124,00
4	ALTURA LIBRE POR PLANTA(distancia suelo techo)	m	2,75
5	ALTURA ENTRE FORJADOS(distancia suelo, suelo+1)	m	3,75
6	LUZ MÁXIMA ENTRE PILARES	m	9,10
7	LUZ MEDIA ENTRE PILARES	m	8,50
8	NÚMERO DE PILARES /PLANTA	Ud.	24,00
9	LONGITUD MUROS ESTRUCTURALES /PLANTA	m	30,00
10	LONGITUD PARTICIONES INTERIORES/PLANTA	m	225,00
11	ESPESOR TOTAL FORJADO INTEGRADO HOLEDECK (ESTRUCTURA+INSTALACIONES)	m	0,55

ESTRUCTURA E INSTALACIONES	SIN INTEGRAR		INTEGRADAS		DIFERENCIA	
EDIFICIO	Uds.	Cantidad	Uds.	Cantidad	Ahorro	%Ahorro
VOLUMEN TOTAL CONSTRUIDO	m3	131.707,50	m3	115.902,60	15804,9	12,00%
ALTURA TOTAL CONSTRUIDA	m	63,75	m	56,10	7,65	12,00%
<b>EMISIONES CO2</b>			Uds.	Cantidad		
(Fuente :Base de precios ITEC)						
PRECIO DE FACHADA			Kg CO2/m2	102,80		
PRECIO FALSO TECHO			Kg CO2/m2	7,59		
PRECIO HORMIGON PILARES Y MUROS			Kg CO2/m3	257,19		
PRECIO HORMIGON EN LOSAS			Kg CO2/m3	272,16		
PRECIO ACERO EN LOSAS			Kg CO2/Kg	3,02		
PRECIO PARTICIONES INTERIORES			Kg CO2/m2	69,43		
CLIMATIZACIÓN 20 AÑOS			Kg CO2/m3	198,70		
Nota:Se supone un consumo total según clasificación C según CTE						
<b>REDUCCION DE EMISIONES CO2 /M2</b>	ud.	CANTIDAD	Uds.	EMISIONES		
AHORRO FACHADA	m2	948,60	Kg CO2	97.516,08		
AHORRO FALSO TECHO	m2	35122,00	Kg CO2	266.575,98		
AHORRO PILARES Y MUROS	m3	134,95	Kg CO2	34.706,76		
AHORRO HORMIGON CON RESPECTO LOSA MACIZA	m3	1756,10	Kg CO2	477.940,18		
AHORRO ACERO EN LOSAS	Kg	152229,20	Kg CO2	459.732,19		
AHORRO PARTICIONES INTERIORES	m2	1721,25	Kg CO2	119.506,39		
AHORRO EN CLIMATIZACION EN 20 AÑOS (en un edificio tipo C)	m3	15804,90	Kg CO2	3.140.433,63		
<b>AHORRO TOTAL (sin incluir construcción de plantas extras)</b>			<b>Kg CO2</b>	<b>4.596.411,21</b>		
<b>AHORRO/M2 (sin incluir construcción de plantas extras )</b>			<b>Kg CO2</b>	<b>130,87</b>		

Tabla I. Valoración de reducciones de CO2 mediante integración de estructura e instalaciones en un ejemplo de edificio de oficinas de 17 plantas.

## CONCLUSIONES

El edificio más sostenible es el que no se construye y si se construye, el que menos volumen construido ocupa y menos materias primas y energía necesita para responder a su función. Integrar estructura e instalaciones es un camino muy eficiente de reducir el impacto de la edificación, si se consideran desde el comienzo del proceso de diseño. La reducción de emisiones de carbono que se obtiene integrando estructura e instalaciones puede estar entre 10 y 25% dependiendo de las condiciones del edificio de referencia del que se parte.

## REFERENCIAS

- [https://itec.es/nouBedec.e/\(2014\)](https://itec.es/nouBedec.e/(2014))
- <http://holedeck.com/>
- Paricio Ignacio, Juan Lluís Fumadó, El tendido de las instalaciones (ed.Bisagra)



# PRESTACIONES TÉRMICAS DE LOS MUROS CON BLOQUES CERÁMICOS Y SU USO EN CONSTRUCCIONES PASSIVHAUS

**Elena Santiago Monedero**, Secretaria General, Consorcio Termoarcilla  
**Ana Ribas Sangüesa**, Asesor Técnico, Consorcio Termoarcilla

**Resumen:** La búsqueda de soluciones constructivas pasivas para el diseño de EECN, promueve el uso de materiales con una gran masa térmica que colaboran en la estabilidad de la temperatura interior del edificio dentro de los márgenes de confort. El bloque Termoarcilla es un material sostenible con una elevada inercia térmica. Los fabricantes han desarrollado la gama de bloques ECO, con una geometría interior que optimiza sus prestaciones térmicas, y también la gama de bloques rectificadas, que se colocan con junta delgada, un montaje prácticamente en seco, más industrializado, que mejora el aislamiento térmico del muro. El software del Buscador de Termoarcilla permite conocer las prestaciones térmicas de las soluciones con bloques particulares de Termoarcilla. Actualmente se está llevando a cabo el proyecto de la primera Casa Taller Laboratorio Passivhaus Premium de la Península Ibérica con cerramientos de bloque Termoarcilla.

**Palabras clave:** Eficiencia Energética, Inercia Térmica, Bloque Cerámico Termoarcilla, Machihembrado, Rectificado, Passivhaus

## INTRODUCCIÓN

El uso del bloque Termoarcilla es habitual en obras bioclimáticas y para el cumplimiento de los estándares de Passivhaus, siendo un material polivalente, empleado para la construcción de muros de carga y de cerramiento en todo tipo de edificios (viviendas unifamiliares y plurifamiliares, equipamientos, edificios comerciales y de oficinas, etc.). Además, hay que destacar que se trata de un producto enmarcado desde hace tiempo dentro de los materiales de construcción sostenible, siendo esta construcción una práctica rentable desde todos los puntos de vista: económico, energético y medioambiental.

El aumento de las exigencias térmicas del Código Técnico de la Edificación (CTE) para adaptarse al cumplimiento del objetivo de conseguir edificios de consumo energético casi cero en el año 2020, ha supuesto una invitación a los materiales de construcción para su evolución hacia mejores productos y sistemas de altas prestaciones técnicas que satisfagan los nuevos requerimientos. En este escenario, el Consorcio Termoarcilla, partiendo del bloque cerámico aligerado Termoarcilla tradicional, ha desarrollado nuevas geometrías interiores y montajes que mejoran las prestaciones térmicas del bloque tradicional, manteniendo el resto de sus cualidades. Este desarrollo permite reducir la necesidad de aislamiento térmico adicional a incorporar en las soluciones mediante sistemas SATE o con trasdosados interiores, e incluso, el uso de soluciones de Termoarcilla sin aislamiento, con el consiguiente ahorro económico.

## FACTORES INFLUYENTES EN LAS PRESTACIONES TÉRMICAS DE LOS MUROS CON BLOQUES CERÁMICOS

El comportamiento térmico de un muro de bloque cerámico depende tanto de la pieza considerada, de su geometría interior y de la conductividad térmica de sus arcillas, como del montaje empleado para la ejecución del muro, del tipo de junta y del material de agarre.

La mezcla de arcillas empleada para la fabricación de los bloques es distinta en función de la cantera de la que el fabricante extraiga sus arcillas. Cada arcilla presenta una conductividad térmica propia. Uno de los procedimientos más efectivos para reducir la conductividad térmica natural de la arcilla cocida, es la introducción de materiales aligerantes durante el proceso de fabricación con el fin de aumentar la microporosidad de la pieza, reduciendo con ello su densidad aparente. En los bloques Termoarcilla, se utilizan cada vez más como aditivos residuos de otros sistemas (pasta de papel, hueso de aceituna, etc.) que a su vez, contribuyen al ahorro energético en el proceso de producción. El aligeramiento la arcilla para la mejora de las prestaciones térmicas se debe realizar manteniendo un equilibrio con otras prestaciones técnicas del bloque como es su resistencia mecánica.

El aislamiento térmico del bloque se basa en gran medida en la capacidad aislante del aire ocluido en el interior de sus celdillas. La geometría interior del bloque, definida por la disposición de las celdillas y el espesor de los tabiquillos, es uno de los factores de mayor relevancia en el comportamiento térmico del mismo. El diseño de estos parámetros para

la mejora de las prestaciones térmicas de los bloques debe tener en cuenta las limitaciones técnicas debidas a las exigencias de las etapas de extrusión, cocción y secado del proceso de fabricación.

Ambos parámetros se han optimizado en el bloque Termoarcilla, dando lugar a una gama de bloques denominada Termoarcilla ECO, con unas prestaciones térmicas por encima de los estándares de calidad habituales [1]. En estos bloques el espesor de los tabiquillos se ha reducido lo máximo posible para disminuir la transmisión de calor a través de los mismos. Asimismo, la dimensión y forma de las celdillas se ha diseñado a partir de un profundo análisis de los fenómenos de transmisión del calor que tienen lugar en el interior del bloque, con el objetivo de minimizar el flujo de calor que se produce a través de las celdillas por conducción, convección y radiación. Dicho análisis ha dado lugar a tres tipos de bloques diferentes en cuanto a la disposición de celdillas interiores:

- Termoarcilla ECO 1: Esta geometría está basada en celdas rectangulares alineadas. La disposición y tamaño de las celdillas rectangulares ha sido dimensionada y optimizada para conseguir la máxima capacidad aislante posible. Además, aunque la disposición de celdas alineadas crea columnas verticales que implican el paso directo del flujo de calor, esta geometría se ha dimensionado para aumentar la longitud de las celdillas y así disminuir el número de columnas verticales sobre los que se transmite el flujo de calor.

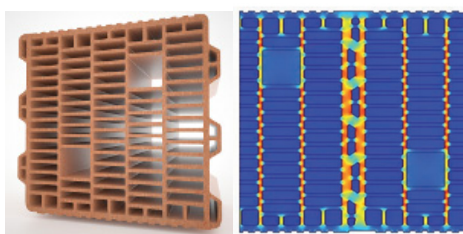


Figura 1. Flujo de calor a través del bloque Termoarcilla ECO1 con celdillas alineadas.

- Termoarcilla ECO2: Esta geometría está basada en celdas rectangulares dispuestas al tresbolillo que evitan las columnas verticales, por lo que esta geometría difumina los pasos directos de flujo de calor.

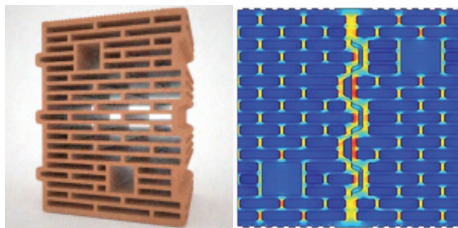


Figura 2. Flujo de calor a través del bloque Termoarcilla ECO2 con celdillas al tresbolillo.

- Termoarcilla ECO 3: Esta geometría está basada en celdas romboidales dispuestas al tresbolillo. La forma romboidal de la celdilla está optimizada de manera que se minimiza la conductividad del aire interior. Además, la disposición de celdas al tresbolillo evita las columnas verticales, por lo que esta geometría difumina los pasos directos de flujo de calor. De esta forma, esta geometría consigue una optimización global de la conductividad térmica del aire y del esqueleto de arcilla.

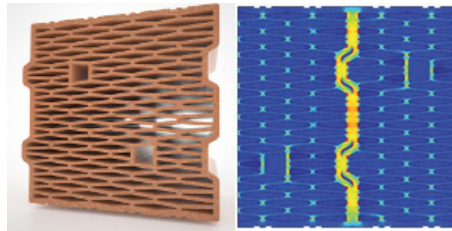
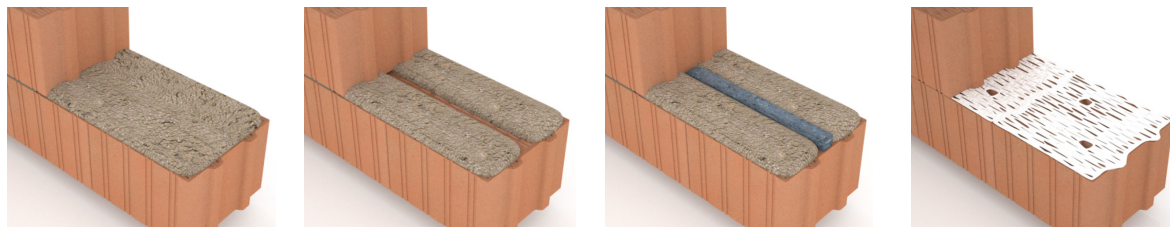


Figura 3. Flujo de calor a través del bloque Termoarcilla ECO3 con celdillas romboidales.

En cuanto a su diseño exterior, los bloques Termoarcilla presentan en su testa un machihembrado vertical que permite su colocación mediante encaje con junta vertical seca, requiriendo únicamente del uso de material de agarre para la junta horizontal. En función del tipo de junta horizontal y del material de agarre, se pueden distinguir los siguientes montajes:

- Montaje 1: Junta horizontal de mortero continua.
- Montaje 2: Junta horizontal de mortero interrumpida por un hueco de 30 mm de espesor.
- Montaje 3: Junta horizontal de mortero interrumpida por un hueco de 30 mm de espesor relleno con material aislante.
- Montaje 4: Junta horizontal delgada. (Sólo para uso con bloques rectificadas).

Considerando la misma pieza y el mismo tipo de mortero, cada uno de los montajes propuestos tienen un aislamiento térmico superior al anterior.



Junta horizontal de mortero continua

Junta horizontal de mortero interrumpida por un hueco de 30 mm de espesor

Junta horizontal de mortero interrumpida por un hueco de 30 mm de espesor relleno con material aislante

Junta horizontal delgada. (Sólo para uso con bloques rectificadas)

Figura 4. Tipos de montajes de los bloques Termoarcilla.

La conductividad y el espesor del material de agarre empleado para el montaje del muro, influye considerablemente en la transmitancia térmica del muro. El empleo de morteros aislantes mejora la transmitancia térmica del muro con respecto a la misma solución empleando mortero convencional.

En el caso de ejecución de muro con junta de mortero de agarre interrumpida por banda de material aislante de 30 mm de espesor, esta banda puede ser de espuma de poliuretano flexible o de algodón reciclado.

El montaje con junta delgada consiste en la aplicación de una capa de mortero cola de 1 mm de espesor. La eliminación del mortero tradicional del montaje reduce significativamente la transmitancia térmica del muro. Este tipo de ejecución sólo puede emplearse con bloques rectificadas, piezas que han sido sometidas a un tratamiento durante el proceso de fabricación para obtener una planeidad perfecta en su tabla. Este montaje no sólo presenta ventajas desde el punto de vista térmico, sino que también supone un montaje prácticamente en seco, más industrializado, con un mayor rendimiento en obra y un ahorro en materiales. Esta tecnología se emplea desde hace tiempo en otros países de Europa como Alemania, Francia o Reino Unido.

## BUSCADOR DE SOLUCIONES TÉRMICAS DE BLOQUE TERMOARCILLA

El abanico de soluciones con bloque Termoarcilla es muy amplio, pudiendo emplearse en muros de una sola hoja, o en soluciones multicapa en las que la fábrica de Termoarcilla sea sólo una parte, como por ejemplo, muros de doble hoja o muros con revestimiento exterior aislante (SATE). Por otro lado, tal y como se ha visto anteriormente, la prestación térmica de la fábrica de Termoarcilla depende varios factores (tipo de pieza, montaje, material de agarre, etc.).

Con el fin de proporcionar una herramienta de ayuda al proyectista a la hora de encontrar la solución de Termoarcilla más adecuada para su proyecto, se ha desarrollado la aplicación “Buscador de Soluciones Térmicas de Termoarcilla”, disponible en [www.termoarcilla.com](http://www.termoarcilla.com). Esta aplicación permite determinar las soluciones de fábrica de Termoarcilla con bloques particulares de los fabricantes que cumplen el requerimiento de transmitancia térmica definido por el usuario, adecuándose a los criterios de búsqueda establecidos por el mismo, en cuanto a tipo de bloque, espesor, revestimientos, aislamiento térmico adicional, etc.

Para cada una de las tipologías de muro se genera un informe que incluye todos los datos técnicos de la solución y los datos del fabricante del producto.

Los valores de transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) utilizados en el Buscador de Soluciones Termoarcilla han sido facilitados por los fabricantes del Consorcio Termoarcilla y provienen de los datos recogidos en la ficha de la marca N y del marcado CE, procedentes de valores de referencia conservadores oficiales o calculados conforme a la norma *UNE 136021:2016 Método de cálculo por elementos finitos para determinar la transmitancia térmica de muros de fábrica de piezas de arcilla cocida*.

## INERCIA TÉRMICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Frecuentemente, los cerramientos se caracterizan térmicamente mediante transmitancia térmica del muro considerando un régimen de estático. Sin embargo, los cerramientos están sometidos a condiciones climáticas dinámicas debido a las oscilaciones de la temperatura exterior y a la radiación solar. En un cerramiento expuesto a las condiciones ambientales se establece una transferencia de energía en régimen dinámico entre el exterior y el interior del edificio. La amplitud de la onda térmica que atraviesa el muro se va amortiguando, produciéndose además un desfase de las temperaturas máximas. A mayor inercia del cerramiento, mayor es el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica.

En verano, en edificios con muros con una elevada inercia térmica, el amortiguamiento y el desfase de la onda térmica evita que en las horas centrales del día la temperatura en el interior del edificio se dispare, manteniendo el confort interior sin necesidad de emplear sistemas de acondicionamiento adicionales. En invierno, en edificios con calefacción intermitente, estos muros acumulan calor durante las horas centrales del día y lo distribuyen a lo largo del mismo, reduciendo las necesidades de calefacción y evitando el enfriamiento nocturno.

Los materiales densos, de mayor espesor, baja conductividad y alto calor específico como el bloque Termoarcilla presentan una elevada inercia térmica [2]. Para cuantificar el fenómeno de la inercia térmica se emplea el concepto de la impedancia térmica y del desfase. Así, de acuerdo con los ensayos realizados por CIDEMCO para el DAU de Termoarcilla, los muros de Termoarcilla de 24 cm con junta interrumpida presentan una impedancia térmica de  $3,5 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$  y un desfase de 8,1 h, y los muros de Termoarcilla 29 cm con junta interrumpida presentan una impedancia térmica de  $5,2 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$  y un desfase de 10,3 h.

Por otro lado, según los estudios realizados en el Centro Politécnico Superior de Zaragoza [2], se puede afirmar que en condiciones climáticas similares, el amortiguamiento de la onda térmica de un muro de Termoarcilla de elevada masa térmica comparado con el de una solución de muro de doble hoja de menor masa térmica puede ser un 27% superior, y el desfase de la onda térmica de 1,7 h más.

La inercia térmica es fundamental a la hora de plantearse la mejora de las condiciones de habitabilidad interiores. El aprovechamiento de la inercia térmica se ha venido haciendo desde la antigüedad y es un recurso habitual en las edificaciones bioclimáticas. La forma más sencilla de emplear la energía natural emitida por el sol es mediante el uso de sistemas pasivos, es decir, aquellos sistemas que utilizan los elementos propios del edificio para su funcionamiento: los huecos para la captación de la energía solar, y los muros y particiones interiores para su acumulación y distribución

a lo largo del día. Estos sistemas pasivos son muy económicos y suponen un importante ahorro energético, requiriendo únicamente de un adecuado diseño de los espacios y materiales del edificio.

Por otro lado, es posible utilizar soluciones técnicas para activar la inercia térmica de los cerramientos, haciendo que en verano se favorezca la evacuación de calor del muro mediante sistemas de ventilación, o que en invierno se favorezca su calentamiento mediante galerías acristaladas.

## **CASA TALLER LABORATORIO PASSIVHAUS**

Actualmente el Consorcio Termoarcilla está colaborando con Passivhaus Consultores en el proyecto de la primera Casa Taller Laboratorio Pasivhauss Premium de la Península Ibérica. La Casa Taller Laboratorio Passivhaus tendrá una superficie de 160 m<sup>2</sup> y se construirá en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> en Robledo del Buey (Toledo). El interior estará dividido en tres zonas:

- Zona Passivhaus: sala principal (80 %) con capacidad para 25 personas.
- Zona Passivhaus: espacio privado habitable para alojamiento de 4 personas.
- Espacio Código Técnico de la Edificación (CTE), formalmente integrado pero arquitectónicamente separado, construido según las exigencias del CTE.

La Casa Taller Laboratorio Pasivhauss será un centro para la formación continua y comunicación a profesionales en un entorno real y monitorizable. Al disponer de dos zonas claramente diferenciadas, zona Passivhaus y espacio CTE, el usuario percibirá la diferencia entre un edificio convencional, según el CTE y otro Passivhaus. Su diseño permitirá comprobar in situ el rendimiento de los materiales, elementos constructivos y sistemas mecánicos que forman la construcción Passivhaus. La Casa Taller Laboratorio Passivhaus presenta una fachada y medianería de muro de carga de bloque Termoarcilla de 24 cm. En la zona Passivhaus el cerramiento está compuesto por un muro de bloque Termoarcilla con un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) de 25 cm de espesor. En el espacio CTE el cerramiento está compuesto por un muro de bloque Termoarcilla con un revestimiento exterior de enfoscado de mortero y un enlucido de yeso al interior.

En los muros de la zona Passivhauss está previsto el empleo de bloques Termoarcilla rectificadas y sin rectificar con el fin de analizar el comportamiento térmico de ambos montajes.

La Casa Taller Laboratorio Passivhaus se encuentra actualmente en fase de ejecución. Los resultados de las monitorizaciones se presentarán en próximas ediciones del Congreso.

## **CONCLUSIONES**

La gama de bloques Termoarcilla ECO es la conclusión de un periodo de investigación largo y denso, cuyo objetivo era conseguir un producto con una geometría interior optimizada para la mejora de sus prestaciones térmicas. Los nuevos diseños de bloques unidos a nuevas formas de montaje más industrializadas, permiten obtener soluciones adaptadas a las exigencias que demanda la arquitectura moderna, con unos estándares de eficiencia energética y sostenibilidad cada vez más elevados. El diseño de obras como la Casa Taller Laboratorio Passivhaus empleando muros de bloque Termoarcilla, pone de manifiesto el que se trata de un material idóneo para la construcción de EECN.

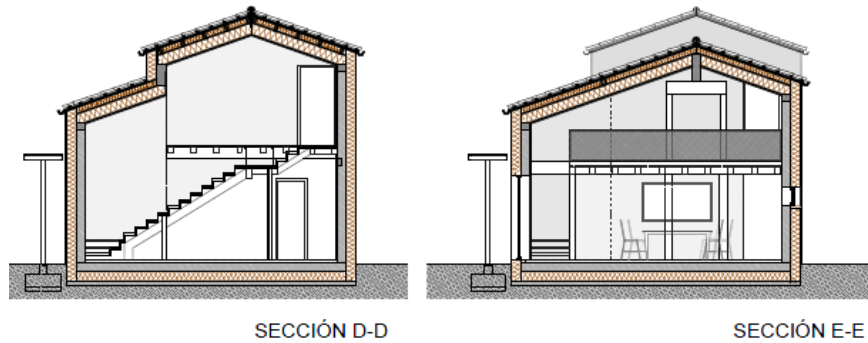


Figura 5. Secciones de la Casa Taller Laboratorio Passivhaus.

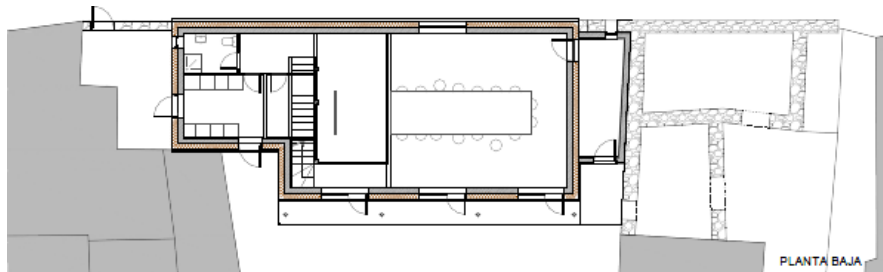


Figura 6. Planta baja de la Casa Taller Laboratorio Passivhaus.

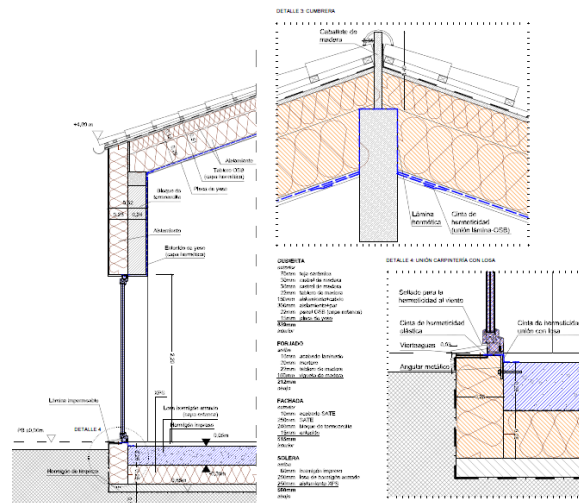


Figura 7. Sección constructiva de la Casa Taller Laboratorio Passivhaus.

## REFERENCIAS

- [1] Sastre, V, 2008, Bloques cerámicos de alto aislamiento térmico, revista Conarquitectura.
- [2] Neila F.J & Bedoya Frutos, C., El comportamiento térmico y la inercia térmica de las fábricas con bloques Termoarcilla, revista Conarquitectura.
- [3] Turégano, J.A. & Hernández, M.A. & Garcia, F., 2003, La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo, revista Conarquitectura.

# ALGORITMO DE CONTROL DE PERSIANAS VENECIANAS Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA TÉRMICA DE UNA VIVIENDA

**Francisco Fernández Hernández**, Área I+D, Dpto. Proyectos, Airzone  
**José Miguel Peña Suárez**, Área I+D, Dpto. Proyectos, Airzone  
**Mari Carmen González Muriano**, Dirección Dpto. Proyectos, Airzone

**Resumen:** La Comunicación presenta un algoritmo de control del funcionamiento de persianas venecianas y el análisis de la influencia de la regulación de las lamas en la demanda térmica de una vivienda. El estudio se realiza para una vivienda unifamiliar tipo de referencia, con 5 zonas térmicas, situada en la localidad de Málaga. El control se hace sobre una ventana del salón con orientación sur. Se contemplan 7 posiciones de control de la persiana veneciana (en función del ángulo de la lama y si está totalmente bajada o a la mitad). El usuario puede elegir la opción de un control que favorezca la iluminación o el ahorro de energía. El algoritmo de control se diseña en base a las simulaciones de iluminación natural realizadas con Daysim y las simulaciones térmicas realizadas con Trnsys. Los resultados muestran ahorros en la demanda de refrigeración y aseguran el confort visual de los usuarios del edificio.

**Palabras clave:** Iluminación Natural, Algoritmo de Control, Disminución Demanda Térmica, Confort Visual

## INTRODUCCIÓN

Los edificios de energía casi nula buscan reducir su demanda de energía principalmente mediante estrategias de diseño pasivo. Los elementos de sombra: toldos, persianas, voladizos, etc., son una de las medidas más importantes en el diseño de edificios sostenibles por el control de las ganancias de calor solares y las condiciones de luz natural (Gomes 2014). En particular, las persianas venecianas son utilizadas en edificios de distinto uso, como elemento de sombra, para reducir deslumbramiento, ganancia solar y mantener la privacidad del usuario.

La posición de las lamas, la distancia entre lamas, las propiedades ópticas, etc., son parámetros de las venecianas que influyen en la demanda térmica del edificio y en la regulación de la entrada de luz natural. S.H.Cho (Cho 1994) analiza el ángulo de lama óptimo, con una reducción del 5 al 30% en la demanda térmica del edificio. En relación a éste, Carletti (Carletti 2016) realiza un estudio experimental con venecianas incluyendo además el análisis de iluminación natural, con ángulos de 45, -45 y 0 grados con respecto a la horizontal, en una vivienda mediterránea. Por otro lado, Olbina (Olbina 2011) destaca la importancia de controlar automáticamente las lamas, frente a las lamas fijas, y establece un sistema de control integrado con la iluminación artificial, mejorando el comportamiento global del edificio.

El presente estudio propone un algoritmo de control que integra el funcionamiento de venecianas en una vivienda, en función de la época del año, para una longitud y latitud dada. Se describe el proceso de modelado del algoritmo, los casos de persiana definidos, los parámetros del modelo y las condiciones de confort. Posteriormente, se expone el caso de estudio y los resultados relacionados con el confort visual, demanda de energía y funcionamiento del sistema en un día típico de verano.

## MODELADO DEL ALGORITMO DE CONTROL DE PERSIANAS VENECIANAS

El algoritmo de control de persianas se diseña tomando como referencia los resultados de las simulaciones de iluminación natural del caso de estudio propuesto (apartado 3). El objetivo del algoritmo es establecer un funcionamiento de las persianas que consiga priorizar el confort visual (modo iluminación, M1) o el confort térmico (modo ahorro de energía, M2), en función de los requisitos del usuario.

Se presentan 7 casos diferentes (figura 1). En 3 casos la persiana veneciana está bajada al 50% y los ángulos de inclinación de las lamas son 0°, -45° (hacia abajo) y +45° (hacia arriba), que corresponde a los casos VEN0A, VEN0B y VEN0C, respectivamente. Los otros 3 casos, la persiana veneciana está bajada del todo y los ángulos son los mismos que anteriormente, dando lugar a los casos VEN1A, VEN1B y VEN1C. El último caso sería en el que la persiana está totalmente subida (P1).

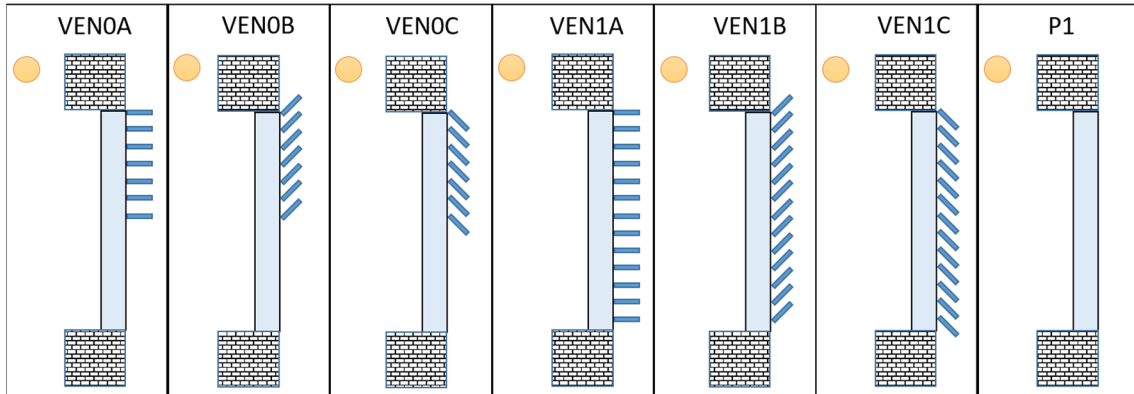


Figura 1. Casos de simulación para las persianas venecianas.

Los parámetros del modelo, entradas y salidas son los que se muestran en la figura 2. Los valores de iluminancia de los 7 casos se obtienen de las simulaciones de Daysim. Este modelo se integra en Trnsys para el estudio térmico.

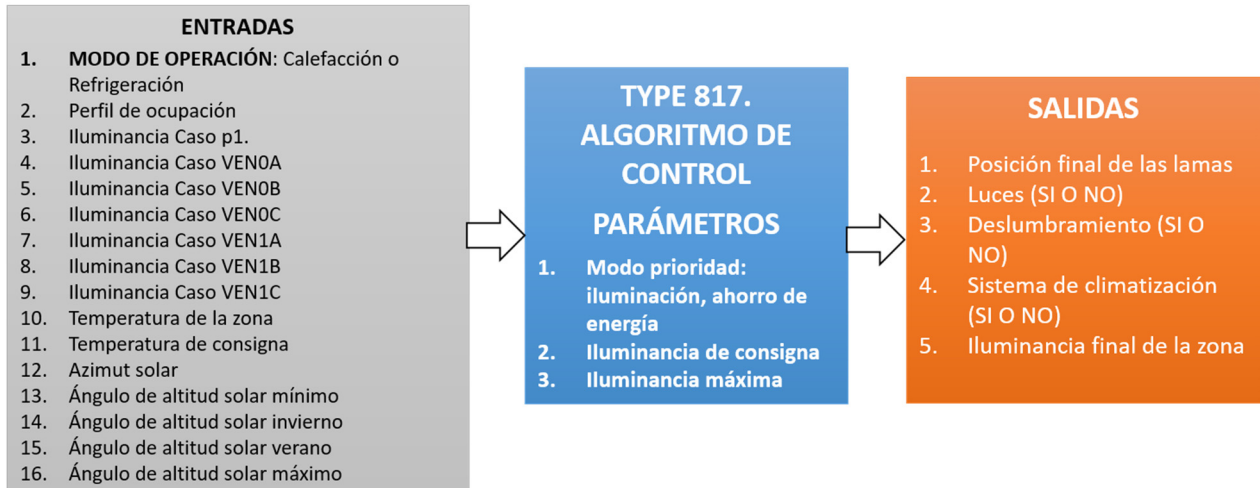


Figura 2. Parámetros, entradas y salidas del modelo de control de persianas venecianas.

La cantidad de iluminación que deja pasar la persiana veneciana con las lamas en una determinada posición depende fundamentalmente de la posición del sol, por lo que, como entrada, el modelo requiere cierta información relativa a la posición del sol en cada paso de tiempo. La figura 3 representa la carta solar cilíndrica para la localidad de Málaga, con la que se puede conocer la posición relativa del sol, respecto a la ventana, a través del azimut solar y ángulo de elevación, para cada día del año.



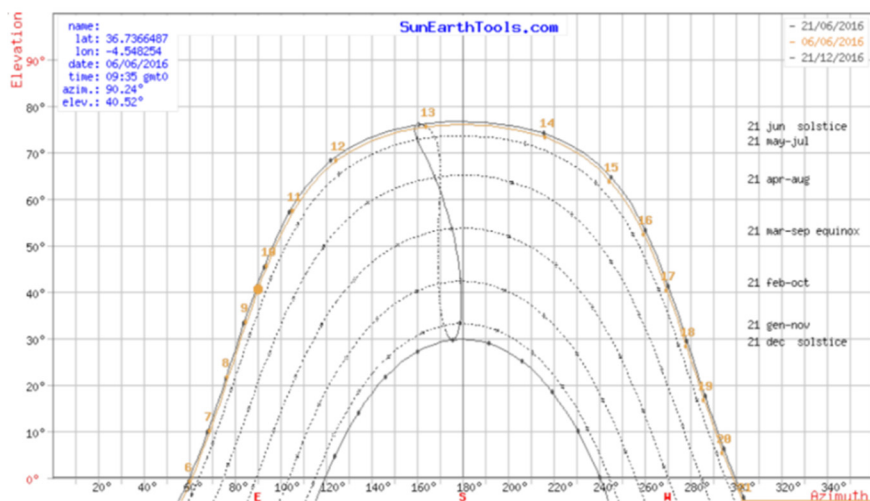


Figura 3. Carta solar cilíndrica para la localidad de Málaga (www.SunEarthTools.com).

La eficacia de sombreado de los distintos casos propuestos depende de la época del año. Tras un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos en la simulación, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Noviembre, diciembre y enero son los meses con la elevación solar más baja (el 21 de diciembre es el día que el sol está más bajo, con un ángulo de elevación de 30°). El orden de los casos más eficientes, de menos a más, es el siguiente:

**VEN0C-P1-VEN1C-VEN0A-VENOB-VEN1A-VEN1B**

- Mayo, junio, julio y agosto son los meses con la elevación solar más alta (el 21 de junio es el solsticio de verano y es el día en el que el sol está más alto, con un ángulo de elevación de 76°), y el orden de eficacia en estos meses es el siguiente:

**VEN0C-VEN0A-P1-VENOB-VEN1C-VEN1A-VEN1B**

- El resto de meses: febrero, marzo, abril, septiembre, octubre tienen comportamiento similar:

**VEN0C-VEN0A-VENOB-VEN1C- P1-VEN1A-VEN1B**

Las premisas de control se fundamentan en comprobar el nivel de confort visual y térmico en la zona y, en consecuencia, ordenar una acción de control sobre la persiana veneciana. Son las siguientes:

- ILUM OK: La iluminancia de la zona es mayor que la consigna de iluminación determinada y menor que la máxima fijada para una iluminancia excesiva.
- OSC: La iluminancia de la zona es menor que la consigna de iluminación.
- DESL: La iluminancia de la zona es mayor que el límite máximo fijado.
- CONF: La temperatura de la zona está en los límites de confort térmicos establecidos.
- DISC: La temperatura de la zona no está en los límites de confort térmicos establecidos.

La tabla I muestra la casuística del algoritmo de control establecida en los tres periodos del año, para el modo de calefacción y refrigeración. En ella se plantea los posibles casos de operación de las persianas y, en función de las premisas de control y del modo prioritario del usuario (iluminación M1 o ahorro de energía M2), se observa si, en ese caso, las persianas se quedan como están (=), van a un estado anterior de menor eficacia de sombra (↑) o van a un estado de mayor eficacia de sombra (↓).

SOLSTICIO VERANO	SOLSTICIO INVIERNO	RESTO DE MESES	ILUM OK + CONF		ILUM OK + DISCONF		OSC + CONF		OSC + DISCONF		DESL + CONF		DESL + DISC	
			=	=	M1= M2↓	M1= M2↓	=	=	=	↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN0C 	VEN0C 	VEN0C 	=	=	M1= M2↓	M1= M2↓	=	=	=	↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN0A 	p1 	VEN0A 	=	=	M1= M2↑	M1= M2↓	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
p1 	VEN1C 	VEN0B 	=	=	M1= M2↑	M1= M2↓	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN0B 	VEN0A 	VEN1C 	=	=	M1= M2↑	M1= M2↓	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN1C 	VEN0B 	p1 	=	=	M1= M2↑	M1= M2↓	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN1A 	VEN1A 	VEN1A 	=	=	M1= M2↑	M1= M2↓	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2↓	M1↓ M2=	↓	↓	↓
VEN1B 	VEN1B 	VEN1B 	=	=	↑	=	↑	M1↑ M2=	↑	M1↑ M2=	=	=	=	=

Tabla I. Algoritmo de control para persianas venecianas (rojo calefacción, azul refrigeración).

## CASO DE ESTUDIO. RESULTADOS

### Descripción del edificio

El edificio de estudio es una vivienda unifamiliar situada en la planta intermedia de un bloque de edificios (figura 4), situada en la localidad de Málaga, con una latitud y longitud de (36.76°, -4.54°). Desde el punto de vista lumínico, se va a estudiar solamente el salón, por ser la zona que más tiempo ocupan los habitantes a lo largo del día.

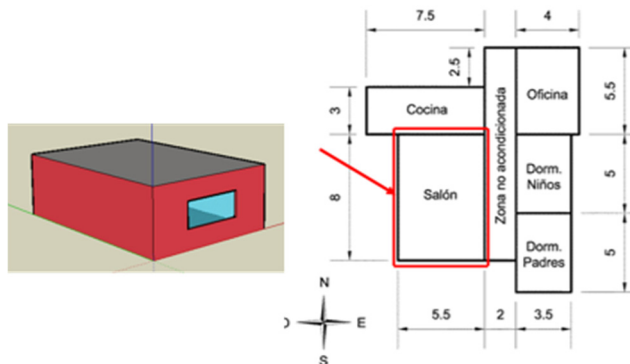


Figura 4. Esquema general de la vivienda.

Las dimensiones del salón son 5.5x8 m<sup>2</sup> y 2.5 m de altura. Dos de sus paredes dan al exterior: la fachada sur y la fachada oeste, mientras que la norte y la oeste dan a la cocina y el pasillo, respectivamente. La fachada sur tiene una ventana de 2.40x1 m<sup>2</sup>, lo que supone una superficie acristalada de 17.5%. La ventana es de doble cristal 4-16-4 mm, con una transmitancia visual de 72% y transmisividad térmica de 78%. Las paredes exteriores son de yeso 1.5 cm/ladrillo 9 cm/Aire/lana de roca 4 cm/ladrillo 12 cm/mortero de cemento 1.5 cm, y las interiores de yeso 1.5 cm/ladrillo 7 cm/yeso 1.5 cm.

Se define un plano de trabajo con una altura de 0.85 m, para el que se establece el nivel de iluminación requerido de 500 lux en la zona según la UNE-12464.1. En el plano de trabajo se define una malla de sensores separados, a una distancia de 0.8 m, lo que constituye un total de 72 sensores. Por último, el nivel de iluminación se ha supuesto constante a 5 W/m<sup>2</sup>, con un control que depende de la iluminancia en el plano de trabajo.

## Resultados

A continuación, se muestran los siguientes resultados de las simulaciones:

### Día característico de verano. Iluminancia interior y modo de operación

La figura 5 muestra la evolución de la iluminancia media del salón y la posición de la veneciana para un día característico de verano. Se comparan el modo de iluminación (M1, color rojo) y el modo ahorro de energía (M2, color morado) para analizar el comportamiento del sistema en ambos modos.

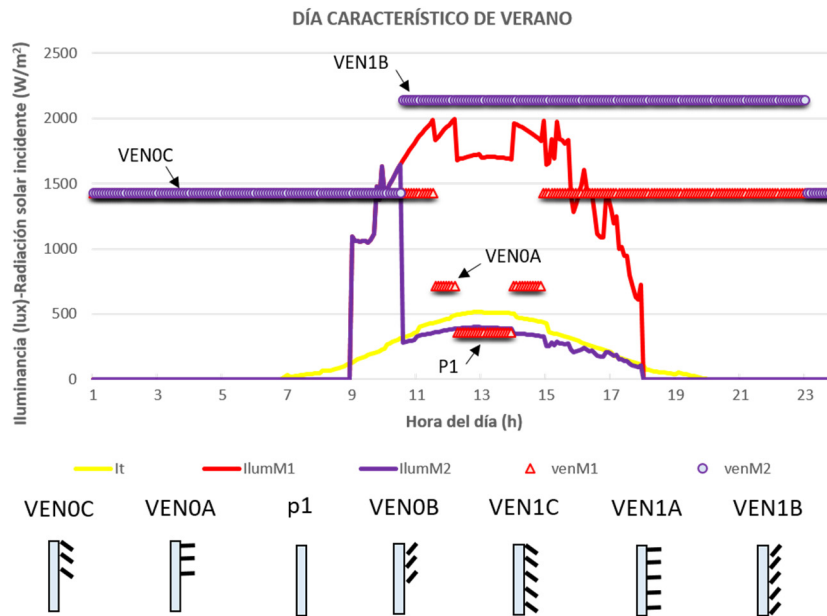


Figura 5. Evolución de la iluminancia media en la zona en un día de verano.

En ambos casos, cuando el sol empieza a influir en la fachada sur, la persiana se pone en modo VENOC, ya que al estar el sol a una gran altura, el ángulo de la lama favorece la entrada de luz natural en la zona. La iluminancia media se va manteniendo por debajo de 2000 lux, hasta que llega el instante que puede superar este límite y el comportamiento varía según el modo establecido.

- En el modo M1, el ángulo de la lama gira a 0º primero para bloquear parte de la radiación solar que provocaría deslumbramiento y, posteriormente, cambia a la posición P1, de manera que la iluminancia es la máxima posible de todos los casos sin que se supere el límite máximo. Después, debido a la curva simétrica de la radiación solar, se repiten los casos VENOA y VENOC.
- En el modo M2, el aumento de la temperatura de la zona hace que la persiana se ponga en VEN1B, que es el caso más eficiente disminuyendo la iluminancia a valores por debajo de 500 lux (aunque muy cerca), por lo que será necesario la iluminación artificial.

### Ahorro de la demanda de climatización

La tabla 2 muestra la demanda de energía del edificio, sin control y con control de persianas, para el modo iluminación y ahorro de energía. Para la demanda de calefacción (enero-abril y octubre-diciembre) y refrigeración (mayo-septiembre) se han establecido unas temperaturas de consigna de 21 y 26°C, respectivamente.

DEMANDA DE ENERGÍA (kWh)	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN
MODO ILUMINACIÓN	3936	404
MODO AHORRO DE ENERGÍA	3778	352
SIN CONTROL DE PERSIANAS	3827	416
AHORRO MODO ILUMINACIÓN (%)	+ 2.8	-2.9
AHORRO MODO AHORRO DE ENERGÍA (%)	- 1.3	-15.4

Tabla II. Ahorro en la demanda de energía respecto al caso sin control, para modo iluminación y ahorro de energía (signo – disminuye, signo + aumenta).

Los resultados muestran un ahorro en la demanda de energía del edificio en modo refrigeración de hasta un 15%, cuando el sistema se activa en modo ahorro de energía. Se ha comprobado en la figura 5 que no siempre este ahorro de energía en demanda viene acompañado con una iluminancia interior suficiente para satisfacer los requisitos del usuario de forma natural. Por otro lado, destaca el hecho de que, para calefacción, la demanda aumenta respecto al caso sin control. Esto es debido a las situaciones con deslumbramiento, donde la iluminancia de la zona es mayor que el límite superior, se activa un caso de veneciana más efectivo para provocar un sombreamiento y disminuir la iluminancia, afectando negativamente a la demanda de calefacción. Sin embargo, este aumento de demanda sólo es de aproximadamente el 3%.

## CONCLUSIONES

Se ha expuesto un algoritmo de control de persianas venecianas con el objetivo de mejorar el comportamiento térmico de un edificio favoreciendo la iluminación natural y la disminución de la demanda térmica. Las simulaciones han permitido determinar qué casos son los más eficaces en función del ángulo de elevación solar. Los resultados obtenidos demuestran un comportamiento adecuado del sistema y cómo, en el modo iluminación se fomenta la iluminación natural máxima por debajo del límite superior establecido por el usuario y, en el modo ahorro de energía, se consigue una reducción del 15% de la demanda de refrigeración del edificio, debido fundamentalmente a la mitigación de la radiación solar.

## REFERENCIAS

- M.G. Gomes, A.J. Santos, A.M. Rodrigues. Solar and visible optical properties of glazing systems with venetian blinds: numerical, experimental and blind control study. *Building and Environment* 71 (2014), 47-59.
- S.H. Cho, K.S. Shin, M. Zaheer-Uddin. The effect of slat angle of windows with venetian blinds on heating and cooling loads of buildings in South Korea. *Energy* 20 (1995) 1225-1236.
- C. Carletti. Thermal and lighting effects of an external venetian blind: Experimental analysis in a full scale test room. *Building and Environment* 106 (2016) 45-56.
- J.Hu, S. Olbina. Illuminance-based slat angle selection model for automated control of split blinds. *Building and Environment* 46 (2011) 786-796.
- DAYSIM. <http://www.daysim.com> (último acceso 15.01.17).
- TRNSYS 17. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/> (último acceso 15.01.17).

# INCIDENCIA DEL CONTROL SOLAR Y APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS HOSPITALES

**Katia Jiménez**, Doctorando, Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Univ. Politécnica Madrid

**Resumen:** La iluminación en hospitales debe cumplir con dos objetivos fundamentales: garantizar las condiciones óptimas para el desarrollo de las tareas correspondientes y contribuir a una atmosfera en la que el paciente se sienta bajo unas condiciones de confort. Con la utilización de luminarias más eficientes, el empleo de sistemas de control y el aprovechamiento de la luz natural, se estima que podrían lograrse reducciones entre el 20 y el 85% en el consumo eléctrico. A continuación se realiza un análisis de la problemática provocada por la radiación solar que incide en las fachadas del Hospital Materno Infantil del Gregorio Marañón, se proponen soluciones para controlar la incidencia directa del sol y control de los sistemas de luz artificial.

**Palabras clave:** Confort Térmico, Iluminación Natural, Control Solar, Ahorro Energético

## PARÁMETROS DE CONFORT TÉRMICO Y LUMÍNICO EN HOSPITALES

El objetivo fundamental del cerramiento de un edificio es garantizar el confort térmico en su interior de acuerdo con el tipo de actividad que se realiza. Mantener los niveles de confort térmico y visual resulta muy necesario ya que inciden directamente en el consumo energético generado por el uso de los sistemas de climatización e iluminación artificial.

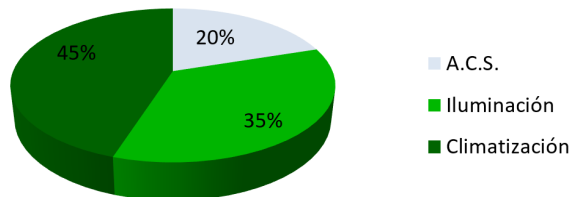


Figura 1. Distribución de consumos energéticos medios de un hospital.

El consumo energético principal para el sector hospitalario se estima que corresponde a la producción de calor y frío, por la alta exigencia de bienestar e higiene en la atención sanitaria, y a la iluminación debido a la cantidad de horas que se utiliza. Con la utilización de luminarias más eficientes, el empleo de sistemas de control y el aprovechamiento de la luz natural, se estima que podrían lograrse reducciones entre el 20 y el 85% en el consumo eléctrico. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), 2010).

## Confort térmico

Según el RITE, el edificio en su interior debe tener una temperatura operativa de 23 a 25°C en verano y de 21 a 23°C en invierno, la cual es una combinación entre la temperatura del aire interior y la temperatura de la radiación de las superficies interiores.

Estación	Temperatura operativa ° C	Humedad relativa %
Verano	23 - 25	45 - 60
Invierno	21 - 23	40 - 50

Tabla I. Condiciones interiores de diseño.

La normativa UNE 100713 sobre instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales, señala las condiciones ambientales según el área, tipo y grupo de locales del hospital. Para quirófanos y sus locales de apoyo, así como salas de pequeñas exploraciones considera una temperatura mínima de 22 y máxima de 26°C; para el resto de las áreas y locales mínima de 24 y máxima de 26°C; con excepción de las áreas de fisioterapia que contengan bañeras, piscinas y baños para rehabilitación en los cuales la temperatura ambiente estará entre 2 y 4°C por encima de la temperatura del agua, hasta una temperatura ambiente de 28°C, por encima de 28°C las dos temperaturas deben ser iguales.

En cuanto a los valores permitidos para humedad relativa, considera unos niveles de 45 a 55 % para todas las áreas del hospital. Existe una nota donde indica que el higienista puede indicar otros valores tanto para la temperatura como para la humedad relativa en todas las áreas. Para otras áreas no propiamente hospitalarias (cocina, lavandería, laboratorios, vestuarios, etc.) deben cumplir con la norma en vigor para cada tipo de local, como lo es la norma UNE-EN-ISO-7730 sobre ergonomía del ambiente térmico, con parámetros de temperatura de 21 a 23°C en invierno y 23 a 25°C en verano, humedad relativa de 50%.

Cabe destacar que existen parámetros difícilmente controlables para conseguir el confort térmico, que vienen dados por el metabolismo de las personas y el factor Clo, factor que mide el grado de vestimenta de una persona y que según la norma UNE-EN-ISO-7730 es de 1clo en invierno y 0,5 clo en verano.

## Confort lumínico

En las infraestructuras hospitalarias mantener los niveles de confort lumínico puede influir en el estado de bienestar y recuperación del paciente, además de proporcionar mayor calidad en los ambientes de trabajo y áreas para visitantes del edificio.

La normativa UNE 12464 sobre iluminación para interiores, recoge las áreas interiores para la cual están dados unos requisitos específicos y unos valores de **iluminancia media mantenida** (Em). En la tabla II se han clasificado las salas del hospital según los niveles de iluminación requeridos para realizar una tarea específica establecida por la norma, desde el nivel muy alto que requiere 5.000 Em lux, hasta el nivel muy bajo con 200 Em Lux, con excepción de los quirófanos que requieren de 10.000 a 100.000 Em lux.

Niveles de iluminación requeridos	Nombre de la sala	UGR	Ra
Muy alto 5.000 Em lux 10.000-100.000 Em lux*	Sala de autopsia Sala de tratamiento dental Quirófanos*	19	90
Alto 1.000 Em lux	Salas de parto Unidad de Cuidados Intensivos Laboratorios Salas de examen y tratamiento Visitas médicas y tratamiento habitaciones pacientes	19	90
Medio 500 Em lux	Despachos de consulta Oficinas Iluminación general en salas de examen y laboratorios Salas preparatorias y de recuperación Salas de reconocimiento médico en general Farmacia	19	90
	Salas de tratamiento de diálisis y dermatología Sala de yesos	19	80
Bajo 300 Em lux	Salas de personal Salas de escáner Endoscopia Masaje, radioterapia y baños médicos Iluminación general en salas de reconocimiento médico	19	80
	Esterilización y desinfección	22	80
Muy bajo 200 Em lux	Salas de espera y de personal Pasillos y escaleras Cuartos de baño y servicios Almacenes	22	80

Tabla II. Niveles de iluminación requeridos por la actividad de las diferentes salas de un hospital.

Otros parámetros que inciden en el confort lumínico también establecidos por la norma son el **límite de índice de deslumbramiento unificado (UGR)** y el **índice de rendimiento del color (Ra)**. La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) establece que a mayor índice UGR mayor será la sensación de deslumbramiento. En función de cada tipo de actividad se recomienda un límite máximo para dicho índice.

El índice de rendimiento del color (Ra) es la capacidad de la luz que emite la lámpara para reproducir fielmente los colores de los objetos iluminados, el cual se puede expresar en una escala de 1 – 100 en la que el valor 100 corresponde a un rendimiento del color igual al obtenido con la luz natural. El rendimiento del color también se define según el tipo de actividad de la sala. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015).

## APROVECHAMIENTO DE LA LUZ DIURNA Y EL CONTROL SOLAR

### Incidencia directa del sol en la fachada de vidrio

Está comprobado que la incidencia de la radiación sol causa efectos en el confort y en el consumo energético de los edificios. En gran parte de las localidades españolas el diseño de un edificio maximizado a la captación solar pasiva, puede evitar el uso del sistema de calefacción, pero a su vez tenemos la problemática de cómo poder gestionar esa energía en épocas de calor. Lo recomendable es poder controlar cuando queremos captar la energía del sol y cuando queremos protegernos de ella. Las orientaciones con mayor necesidad de protección frente a los efectos del sol son las SE-SO, por lo general, las más críticas suelen ser la SO debido a que en esta orientación la incidencia solar en el entorno del solsticio de verano es más perpendicular a la superficie.

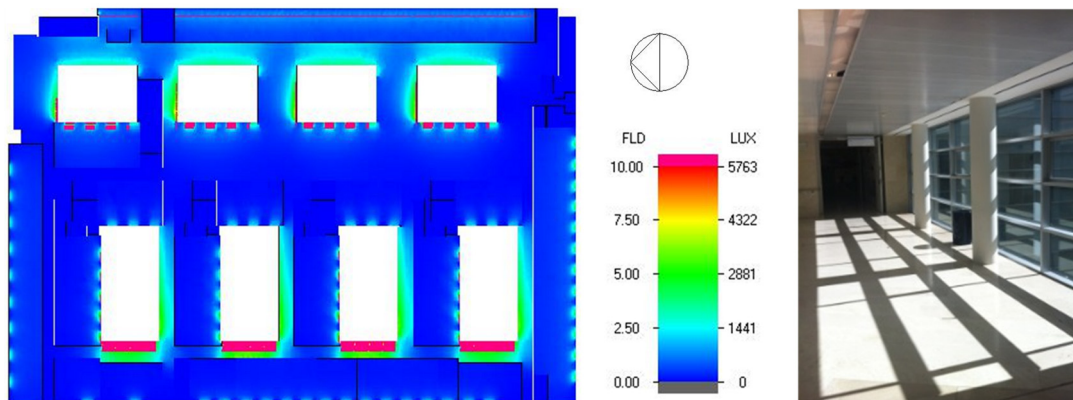


Figura 2. Modelo Radiance planta 5 Hospital Materno Infantil Gregorio Marañón.

El edificio Materno infantil del Hospital Gregorio Marañón tiene una superficie de 50.000 m<sup>2</sup> distribuidos en seis plantas, dos sótanos y planta baja. La figura 2 muestra los niveles de iluminancia en la planta 5 del hospital en el mes de julio, donde el 55% de la superficie de suelo supera los límites de iluminancia, lo que produce efectos de deslumbramiento que inciden directamente en la calidad y confort visual; del mismo modo sucede en las tres plantas inferiores a esta.

En la fotografía aparece el cerramiento ubicado en la fachada Este de los patios interiores del edificio, compuesto por un muro cortina con estructura de montantes y travesaños de aluminio y acristalamiento doble translucido 6+12+6 con un coeficiente de transmitancia térmica "U" de 3,2 Kcal/hm<sup>2</sup>°C; la radiación directa logra penetrar a través del vidrio y provoca el calentamiento de las superficies y el aire interior, afectando el confort térmico.

### Sistemas empleados para el control solar

Ante la radiación solar directa en los edificios a través de los huecos tenemos dos problemáticas que resolver:

- Las ganancias térmicas las cuales provocan exceso de calor, estas deben apalearse con el uso de los sistemas de refrigeración, lo que produce un aumento en el consumo energético.
- El exceso de luz natural en el espacio, produce deslumbramientos y contrastes.

Donde colocar la protección solar es fundamental para conseguir objetivos de ahorro energético, coste y mantenimiento. Mientras más al exterior coloquemos la protección más mejoramos las condiciones de confort en el interior y ahorramos más energía. En el gráfico 3 se presentan tres posibilidades de colocación y se comparan sus ventajas y desventajas.

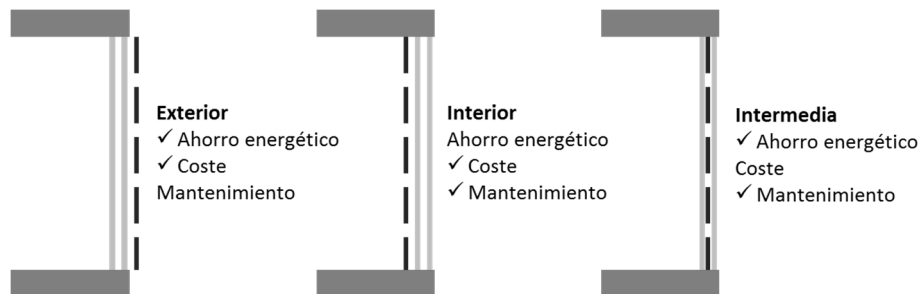


Figura 3. Esquemas de las diferentes opciones para colocar la protección solar.

A continuación, se definen los sistemas de protección de colocación exterior por presentar mayor eficiencia en el ahorro energético y por tener mayor viabilidad para su colocación en las fachadas.

**Brise soleil:** elemento arquitectónico que se integra al exterior del cerramiento del edificio, a través de un sistema de lamas o parasoles diseñados geométricamente de acuerdo a la trayectoria solar. Las lamas pueden estar dispuestas de forma horizontal o vertical y ser accionadas de manera manual, mecánica o motorizada.



Figura 4. Sistema de Brise soleil en fachadas del Military Medical Center (SAMMC) Houston.

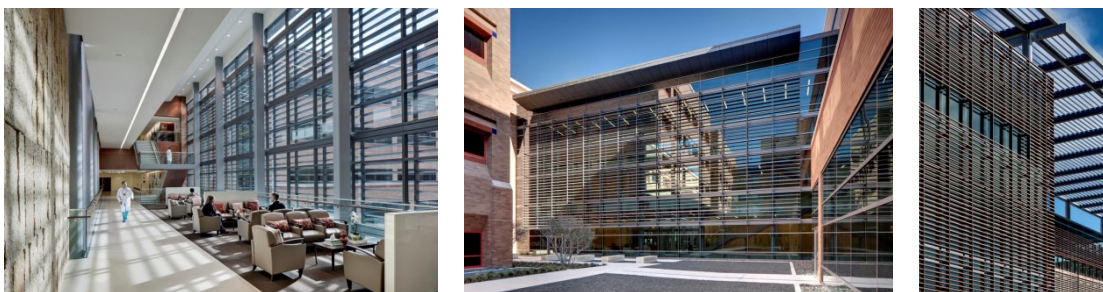


Figura 5. Sistema de celosías en fachadas del Hospital el Carmen de Maipú, Chile.

**Celosías:** sistema para el control solar que permite la dosificación de la radiación solar directa hacia el interior, suelen estar dispuestas de manera horizontal, vertical e inclinadas y pueden ser orientables o fijas. Su disposición de manera horizontal es recomendable para la orientación Este, debido a que controlan la horizontalidad de los rayos solares en verano.

**Pantallas:** elemento arquitectónico paralelo a la fachada que impide la radiación solar directa; la visibilidad interior-exterior y el factor de sombra, van a estar determinados por la densidad de la pantalla.



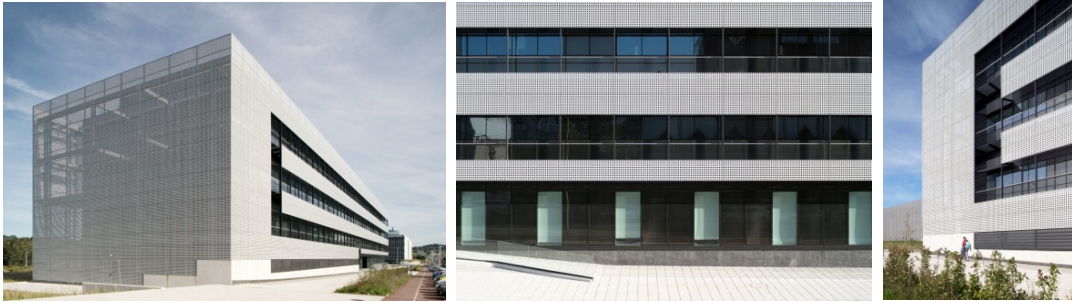


Figura 6. Pantallas de chapa perforada edificio de la plataforma tecnológica Martina Casiano, Vizcaya.

**Voladizos:** elemento que se proyecta de manera horizontal y que arroja sombra sobre la fachada. Estos pueden ser macizos o formados por lamas, lo que permite tamizar el paso de la radiación solar.



Figura 7. Voladizos fachada ampliación del Hospital San Juan de Dios, Pamplona.

**Toldos o lonas tensadas:** son elementos textiles empleados para la protección solar, se proyectan en forma de techos, voladizos o fachadas. Su diseño suele ser muy versátil por la gran variedad de tamaños, formas y colores; el material es un polímero que puede ser microperforado permitiendo el paso del viento y la visibilidad o totalmente impermeable para proteger del sol y la lluvia.

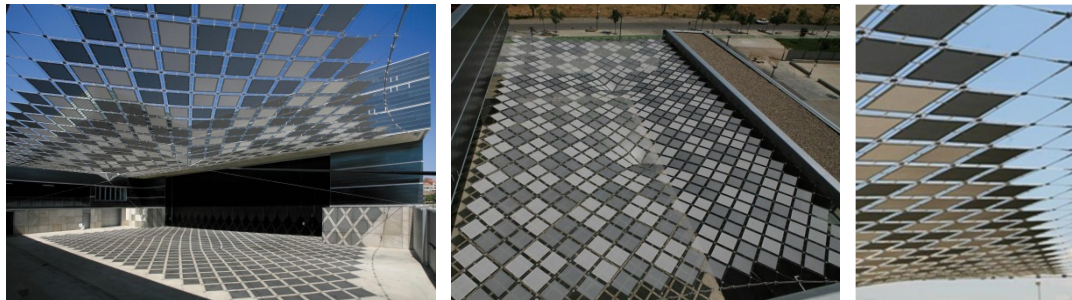


Figura 8. Estructura de malla tensada Palacio de Congresos de Huesca.

## RECOMENDACIONES

Los hospitales son edificios que por una u otra circunstancia se vuelven parte de la vida de los usuarios, ya sea el personal médico, el paciente, familiar o visitante, que en la mayoría de los casos están sometidos a niveles elevados de estrés ¿por qué no hacer de estos espacios lugares más confortables que puedan ayudar a la recuperación del paciente y a facilitar el buen desempeño de las labores del personal? Se pueden identificar problemas como el calentamiento y deslumbramiento provocado por la radiación solar y proponer soluciones que contribuyan a mejorar estos espacios que no solo proporcionarían un aumento en los niveles de la calidad de vida de los usuarios, también ayudaría a reducir el consumo energético que por su complejidad tienen las infraestructuras hospitalarias.

En relación al caso puntal del edificio de la Maternidad, se recomienda analizar cada una de las zonas afectadas por la incidencia directa del sol, simulando la aplicación de las diferentes protecciones solares exteriores y evaluar cuál sería la más conveniente para control de la radiación solar para contribuir en el aumento de los niveles de confort tanto visuales como térmicos.

Se propone el control de la iluminación artificial, aprovechando al máximo la luz diurna gracias a la geometría y orientación del edificio, partiendo del uso de sistemas de control en respuesta a la luz natural y estudiando la posibilidad de ser combinados con otros sistemas de control, con la intención de prolongar la vida útil de las luminarias y reducir el consumo energético del hospital.

## REFERENCIAS

- Comité Español de Iluminación (CEI), 2005, aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios, Madrid.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), 2010, Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales, Madrid.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), 2011, Guía del estándar Passivhaus, edificios de consumo energético casi nulo, Madrid.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2015, Iluminación en el puesto de trabajo, Madrid.

# INTEGRACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN LAS INSTALACIONES FRIGORÍFICAS Y DE CLIMATIZACIÓN DE UN HOTEL

**Luís Clavería**, Promotor y Titular, Hotel Ciudad de Binefar

**Jose Miguel Pallarés**, Director Técnico, SYP Ingenieros

**Raúl Serradilla Bejarano**, Aircon B2B Manager, Samsung Electronics Air Conditioner Europe

**Resumen:** Se describirá el uso de equipos de volumen variable de refrigerante (VRF) que optimizan la recuperación de calor entre distintos sistemas/zonas de un mismo edificio o instalación, ya sea en hibridación con otros sistemas ó de forma exclusiva, y cómo realizar un correcto diseño de los mismos que logre una perfecta integración con los sistemas del edificio, así como un correcto balance de las cargas. Se profundizará en la tecnología de recuperación de calor en sistemas VRF, el balanceo de cargas desde hidrokits de producción de agua fría para el sistema de climatización y Agua Caliente Sanitaria, y su hibridación con el resto de sistemas de climatización e instalación de frío para cámaras frigoríficas.

**Palabras clave:** VRF, Recuperación de Calor, Balance de Cargas, Hibridación, Rendimiento Estacional, Hidrokits, Cámaras Frigoríficas

## ANTECEDENTES DEL SISTEMA

En el sector hotelero los costes energéticos (climatización, ACS y calefacción) suponen una parte muy importante de los costes totales de explotación, pudiendo llegar a superar el 20% en aquellos establecimientos con piscina climatizada y/o SPA.

Debido a esto, es imprescindible el diseño e implantación de sistemas eficientes que, además de cubrir las necesidades energéticas proporcionando confort, sean lo más eficientes posibles.

El diseño e instalación se realiza en un edificio de nueva construcción (inaugurado en mayo de 2017, proyecto de instalaciones de marzo de 2013 con modificado de octubre de 2015). La actividad a desarrollar en el edificio es hotel (3 plantas, cada una con 21 habitaciones y 6 apartotel, con un total de 81 plazas), ofreciendo servicios de restaurante, cafetería, salón de banquetes y spa / gimnasio, que pueden ser independientes del uso de hotel. Dado el emplazamiento del hotel, la utilización de las habitaciones (zona de hotel y apartotel) será variable y de difícil estimación a priori (no se trata de un hotel de ciudad, no se emplaza en la costa, ni se encuentra en la montaña). El uso de la cafetería y del restaurante es de carácter periódico y estacional, mientras que el uso del salón será puntual, con ocupación variable, pero suponiendo una carga térmica significativa respecto de edificio en conjunto (respecto de las cargas totales simultaneas, supone un 51% de carga en frío y un 23% de la carga en calor). Tanto el local como el gimnasio tienen un uso comercial con los horarios habituales del mismo.

## Descripción del sistema

Se prevé un sistema centralizado, que pueda atender una demanda térmica continua a carga parcial baja, con capacidad de respuesta térmica con tiempo de anticipación de pocas horas para tratar térmicamente la zona del salón. El sistema debe poder atender la variabilidad de cargas, así como los diferentes modos de demanda frío-calor simultáneo según las zonas de hotel y resto de servicios (cafetería, restaurante, salón y local). Se ha considerado la versatilidad de la instalación, tanto en el mantenimiento de las redes de transporte del fluido térmico, como en la reparación y sustitución de las unidades terminales y de los generadores de calor/frío. También se ha tenido en cuenta el combustible, tanto desde el punto de vista de la dependencia de varios combustibles, así como del impacto medioambiental.

De acuerdo a todo lo anterior, se considera que el sistema óptimo consiste en una instalación de aire-agua, distribución a cuatro tubos, con fancoils en elementos terminales, generadores de calor y frío consistentes en calderas de condensación a gas natural y enfriadoras de agua condensadas por aire, con un sistema de aerotermia por bomba de calor con recuperación de calor (tres tubos). Toda la ventilación del edificio es forzada, con recuperadores de calor con una eficiencia superior al 70% del calor sensible.

La modificación normativa de RITE y del CTE, previa justificación energética y documental, permite la utilización de aerotermia como energía renovable para la sustitución del aporte solar a la generación de ACS. De esta manera el sistema de generación consistirá en calderas alimentadas con gas natural para calentar agua del sistema de calefacción

y como apoyo del acs, enfriadoras de agua para el sistema de climatización, aerotermia con bomba de calor para parte del acs que sustituye al sistema solar, VRF a tres tubos con kit hidráulico para complementar las unidades exteriores de la aerotermia y poder realizar agua fría a bajo coste cuando haya demanda de calor y frío simultáneo en el edificio.

## DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE CAUDAL VARIABLE DE REFRIGERANTE CON RECUPERACIÓN DE CALOR

Un sistema VRF (caudal de refrigerante variable, variable refrigerant flow en inglés) es un sistema de aire acondicionado que usa refrigerante como medio de transferencia de calor, conjuntamente con baterías de expansión directa. Se compone de una ó varias unidades exteriores, múltiples unidades interiores, y un relativamente complejo sistema de control y gestión del caudal del refrigerante y el aceite basado principalmente en:

- Un compresor ó compresores con ajuste de la capacidad dentro de las unidades exteriores
- Válvulas de expansión electrónicas y modulantes para cada unidad interior

Hay dos tipos de sistemas de caudal variable de refrigerante:

- Tipo 1, llamado coloquialmente como 2 tubos ó bomba de calor, en el cual las unidades interiores solo pueden trabajar en un modo, ya sea frío ó calor.

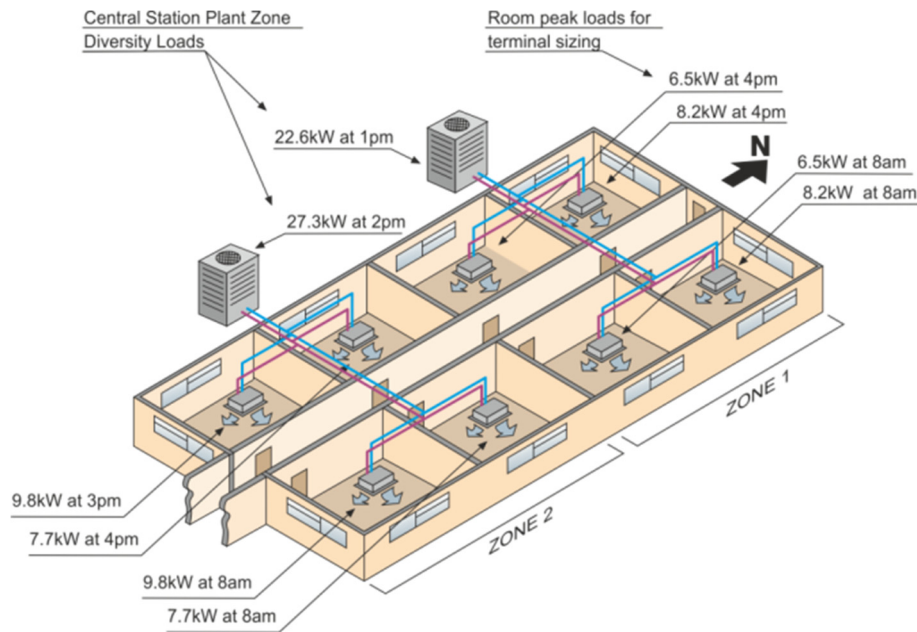


Figura 1. Sistema VRF bomba de calor.

- Tipo 2, llamado coloquialmente como 3 tubos (líquido, succión y descarga) ó recuperación de calor, donde las unidades interiores pueden proporcionar simultáneamente frío y calor. La característica importante de los sistemas de recuperación de calor es su capacidad de transferir "calor" a través del refrigerante de una zona a otra y, por lo tanto, operar simultáneamente unidades interiores en modos opuestos, consiguiendo excelentes eficiencias energéticas.

Para recuperar el calor de las zonas refrigeradas hacia las zonas a calentar, se usan colectores de control adicionales en cajas de distribución (MCUs ó unidades de control del modo de funcionamiento).

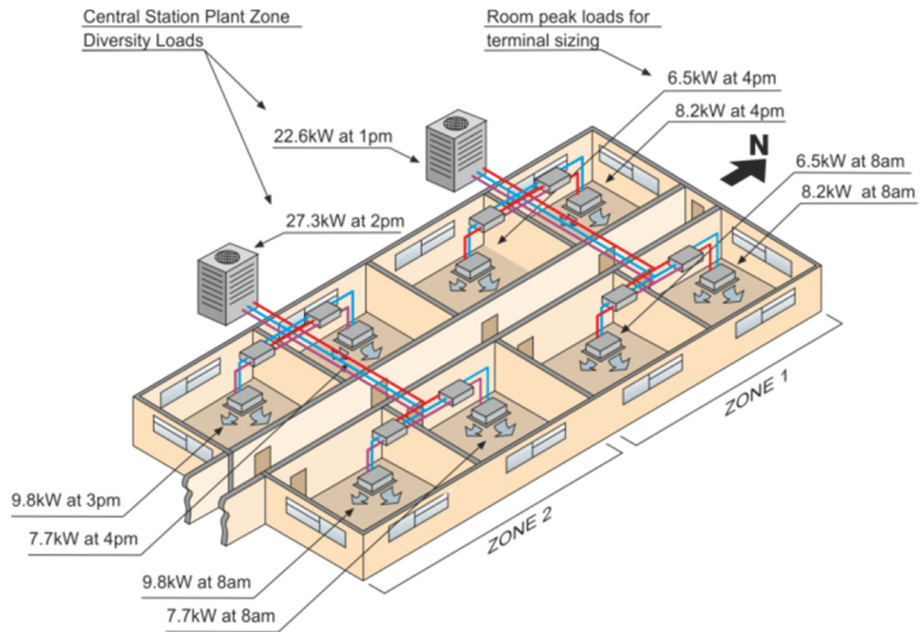


Figura 2. Sistema VRF recuperación de calor.

Resumiendo, un sistema de recuperación de calor consiste en: unidades exteriores, tuberías de refrigerante y accesorios, unidades interiores, cajas de distribución donde se produce la recuperación de calor, y controles.

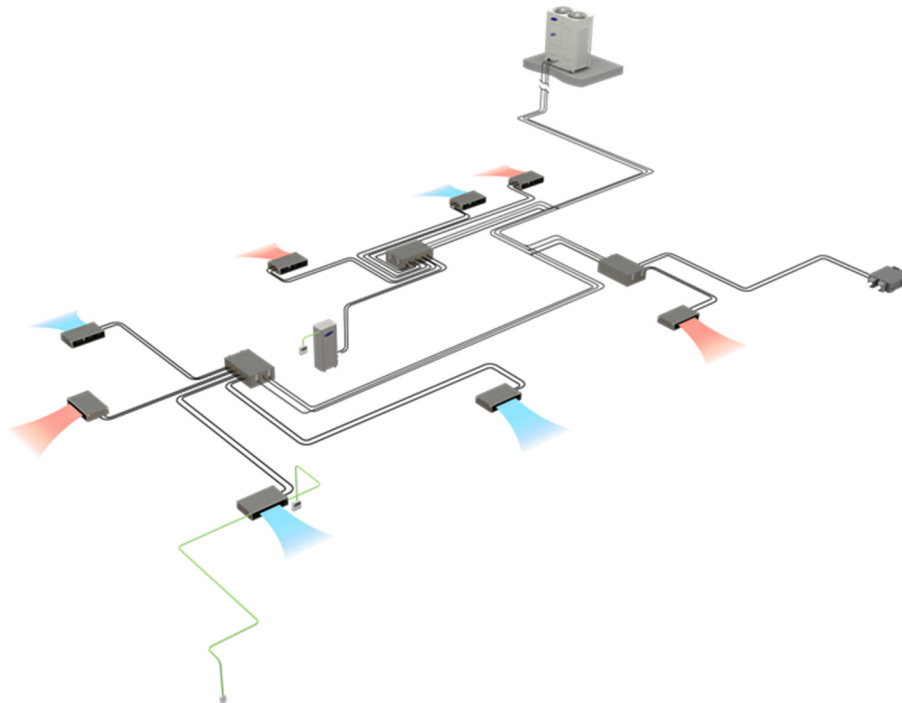


Figura 3. Esquema componentes sistema de recuperación de calor.

En relación a los modos de funcionamiento, un sistema bomba de calor tiene dos tipos de ciclo frigorífico: modo frío, donde todas las unidades que están en funcionamiento requerirán de frío, y modo calor, donde todas las unidades que están en funcionamiento requerirán de calor.

Por el contrario, en un sistema de recuperación de calor nos encontraremos con 4 modos de funcionamiento:

- Modo frío. Todas las unidades interiores demandan frío, como en bomba de calor
- Modo principalmente frío. De todas las unidades interiores en funcionamiento, la mayoría demandan frío y el resto demandan calor, recuperando energía entre unidades interiores en distinto modo de funcionamiento
- Modo principalmente calor. De todas las unidades interiores en funcionamiento, la mayoría demandan calor y el resto demandan frío, recuperando energía entre unidades interiores en distinto modo de funcionamiento
- Modo calor. Todas las unidades interiores demandan calor, como en bomba de calor

En cuanto a la eficiencia del sistema de recuperación, como ejemplo, un equipo de DVM S de 10 HP (aproximadamente 28 kW de capacidad) combinado con 4 unidades interiores de 7,1 kW es capaz de alcanzar una eficiencia simultánea en frío y calor (SCHE) con un 50% de carga para cada uno de los sistema superior a 10 (en unidades SI), según ensayos llevamos a cabo por AHRI (tabla I):

Modo de operación		Tª ambiente	EER	COP
Calefacción	Refrigeración			
100%	-	7°C	-	5,35
75%	25%	14°C	7,85	
50%	50%	21°C	10,9	
25%	75%	24°C	8,25	
-	100%	35°C	4,5	-

Tabla I. Eficiencia energética DVM S 10 HP s/AHRI.

$$SCHE = (\text{Heating Capacity (Btu/h)} + \text{Cooling Capacity (Btu/h)}) / \text{Total System Power Input (watts)}$$

	Three Room Calorimeter or Air Enthalpy SCHE3		Two Room Air Enthalpy SCHE2	
	Dry bulb °F [°C]	Wet bulb °F [°C]	Dry bulb °F [°C]	Wet bulb °F [°C]
Outdoor-side				
- Air	47.0 [8.3]	43.0 [6.1]	47.0 [8.3]	43.0 [6.1]
- Water	86.0 [30.0]		86.0 [30.0]	
Indoor-side:				
- Heating	70.0 [21.1]	59.0 [15] (max)	75.0 [23.2]	70.0 [21.1]
- Cooling	80.0 [26.7]	67.0 [19.4]	75.0 [23.2]	70.0 [21.1]

Figura 4. Condiciones de ensayo AHRI.

## SUSTITUCIÓN DEL APOORTE SOLAR PARA A.C.S. POR AEROTERMIA

De acuerdo con el DB HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del CTE, el sistema de contribución solar mínima de agua caliente sanitaria se sustituye totalmente por una instalación alternativa de aerotermia con bombas de calor accionadas eléctricamente y condensadas por aire con SPF=2.81, la cual queda justificada por una menor emisión de CO2 y menor consumo de energía primaria no renovable, respecto del sistema solar térmico para acs con apoyo del sistema de referencia, el cual se usa también para la calefacción del edificio.

**Energía necesaria en el edificio**

	ene.	febr.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	anual
kWh calefacción	93553	67815	48844	23685	0	0	0	0	0	3904	53558	89302	<b>380661</b>
kWh refrigeración	0	0	1814	4987	21763	55314	67102	63021	28110	6801	0	0	<b>248911</b>
kW ACS	15401	9072	9820	9286	12496	13278	14872	13722	12092	11194	9503	15065	<b>145801</b>
kWh calef. agua pisc.	3036	2615	2199	1888	1278	670	433	519	986	1526	1972	2623	<b>19743</b>

**Consumo y emisiones del Sistema Proyecto con aerotermia (calefacción y acs)**

	ene.	febr.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	anual
kWh PRIMARIA	132538	86949	63684	35560	12059	12211	13398	12467	11449	15385	68338	125317	<b>589356</b>
t CO2	23.77	14.56	10.33	5.77	1.96	1.98	2.17	2.02	1.86	2.50	11.08	22.29	<b>100.28</b>

**Consumo y emisiones del Sistema Solar y Sistema Referencia (calefacción y acs)**

	ene.	febr.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	anual
kWh PRIMARIA	149382	107361	79309	41399	7580	7676	8422	7837	7197	12810	86025	142643	<b>657639</b>
t CO2	30.52	21.93	16.21	8.47	1.57	1.59	1.75	1.63	1.49	2.64	17.58	29.15	<b>134.53</b>

Así pues, el sistema del proyecto tiene un consumo anual (calefacción y acs) de energía primaria de 589.4MWh, frente a los 657.6MWh del sistema solar y referencia; las emisiones anuales (calefacción y acs) del sistema del proyecto son 100.3t de CO<sub>2</sub>, frente a los 134.5t CO<sub>2</sub> del sistema solar y referencia.

**INTEGRACIÓN DEL SISTEMA EN NUEVOS USOS**

De acuerdo a todo lo visto anteriormente, se ha previsto que el sistema pueda aceptar la generación de frío y calor simultáneo con una recuperación de calor. Esto se realiza por medio de diferentes generadores de calor y frío que aportan energía en forma de agua a 60°C y a 7°C a sendos acumuladores de inercia, desde los cuales se transportan a los diferentes puntos en los que se demanda calor y frío. Los generadores principales son enfriadores y calderas, pero las primeras etapas de demanda térmica quedan satisfechas por medio de un sistema de aerotermia con recuperación de calor. Dicho sistema puede ofrecer 100kW en calor y 100kW en frío simultáneos en modo recuperación de calor, este valor se ha establecido en base a las necesidades térmicas mínimas del hotel (91kWc / 119kWf) en el uso de los servicios del hotel y la cafetería, de esta manera se garantiza una demanda energética mínima por bienestar ambiental según la estación del año, debiendo prever una demanda contraria para que el sistema sea eficiente), pero se ha previsto el espacio y la instalación hidráulica para poder incorporar nuevos equipos de aerotermia idénticos a los ya instalados, que permitan aumentar esta potencia, en el caso de que se detectara un factor mayor de simultaneidad de frío/calor y la actuación fuera amortizable en poco tiempo. El sistema utiliza agua fría 7/12°C y caliente 60/50°C, la cual es generada por las enfriadoras y por las calderas, la aerotermia ofrece la potencia de 0-200kW como agua caliente y/o fría en escalones de 25kWf o 35kWc, el control se establece por las temperaturas de retorno y la variación de temperatura de los tampones, las cuales indican al control que generadores poner en marcha (de acuerdo a los parámetros establecidos).

Puesto que el fluido térmico secundario es agua, es relativamente sencillo y seguro realizar el transporte de energía a aquellos puntos en los que se precise, particularmente se detectó en las fases finales de las instalaciones generales una demanda térmica significativa en las cámaras de frío de las cocinas. Para ello se instaló un sistema frigorífico, el cual se preparó para condensar por aire, pero por indicaciones de la Dirección Facultativa de instalaciones se añadió:

- Un intercambiador de calor agua/refrigerante en el circuito de condensación, el lado del agua se alimenta desde el circuito de frío del sistema de climatización.
- Un circuito de agua desde el colector de frío del sistema de climatización.

- Un circulador en dicho circuito, con orden de funcionamiento según las demandas energéticas de la climatización y ACS del edificio, pero maniobrado por el sistema de refrigeración.

El funcionamiento se realiza únicamente cuando hay una demanda simultánea de calor en el edificio, y siempre que ésta provenga del sistema de aerotermia, garantizando de esta manera un uso eficiente de la energía, puesto que se realiza con una recuperación de calor. Cuando se cumplen los parámetros de funcionamiento descritos, el refrigerante del sistema de frío de las cámaras condensa en el intercambiador de calor, evitando el funcionamiento de las condensadoras de aire de la cubierta (en la cubierta cuatro plantas por encima de las centrales frigoríficas), con una disminución en el gasto energético de su funcionamiento (500W de consumo de ventiladores frente a 41W de consumo de la bomba de agua), especialmente en la temporada de verano, puesto que la condensación se realiza contra un agua a 7°C-12°C en régimen constante, en lugar del ambiente exterior a una temperatura variable entre 20°C y 38°C (Figura 5).

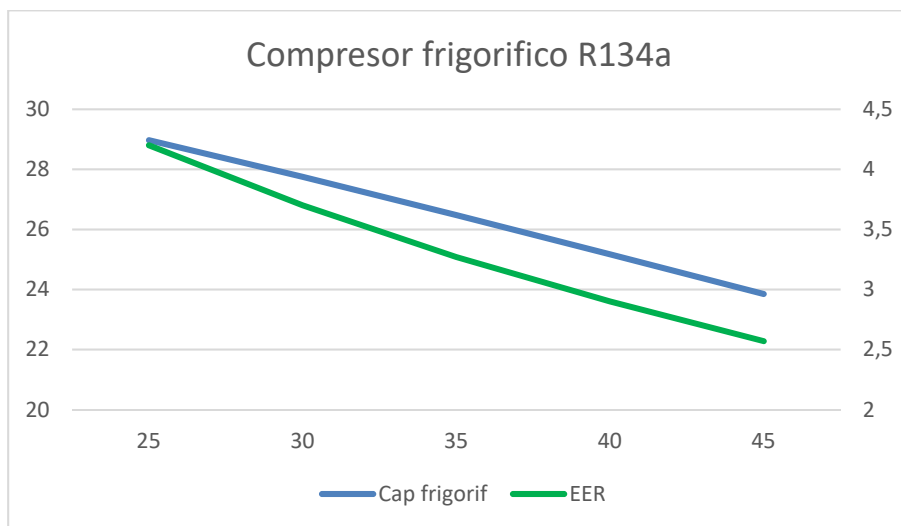


Figura 5. Variación de la capacidad y el EER en función de la temperatura exterior.

Este sistema tiene sentido puesto que los generadores de calor y frío tienen un grado de parcialización muy elevado (cada una de las dos enfriadoras tienen 4 etapas, siendo la primera potencia de 59kW, las calderas modulan del 17% hasta el 100%, siendo la primera potencia de 34kW, la aerotermia tiene una modulación del 5-100%). Esto permite conocer la procedencia de la energía que se suministra al edificio, por lo que se puede determinar la idoneidad de la puesta a marcha de los equipos de recuperación de energía. Actualmente la instalación sigue en un proceso de toma de datos para el ajuste final del sistema de control de cara a una optimización de los algoritmos de control.



# INTERCAMBIADOR AIRE-AIRE ADAPTADO A FACHADAS VENTILADAS

**Haritz Alberdi Lizaso**, Investigador, Tecnalia Research & Innovation

**Iñigo Urra Mardaras**, Investigador, Tecnalia Research & Innovation

**Resumen:** El objetivo de este documento es presentar los aspectos del diseño y describir brevemente la primera caracterización del intercambiador aire-aire adaptado a fachadas ventiladas diseñado por Tecnalia Research & Innovation dentro del proyecto E2VENT. Este intercambiador está diseñado como parte de un módulo de renovación adaptable para el acondicionamiento de edificios residenciales de los años 60 y 70 en toda Europa que integra el intercambiador de calor y un sistema de almacenamiento de energía basado en materiales de cambio de fase. Esta unidad de recuperación de calor se ajustará para integrarse en la cavidad de fachada ventilada y será capaz de recuperar el calor del aire de ventilación, el precalentar el aire de ventilación en invierno y pre-enfriar en verano resolviendo el problema de las renovaciones de aire en edificios rehabilitados. En este documento se presentan los rendimientos obtenidos por el primer prototipo y se muestra el segundo prototipo rediseñado tras un profundo análisis de los resultados obtenidos del primero.

**Palabras clave:** Fachada Ventilada, Renovación de Aire, Calidad de Aire, Intercambiadores Compactos, Platos OSF

## INTRODUCCIÓN

La renovación del aire garantiza la calidad del aire interior y previene a los ocupantes de problemas de salud. En el caso de los edificios existentes, la baja hermeticidad al aire permite la ventilación natural a través de las fachadas, pero cuando un edificio es rehabilitado, las pérdidas de calor a través de la fachada se ven limitadas por la adición de una capa de aislamiento (interno o externo) y normalmente se cambian las ventanas. Estos aspectos de la renovación tienen impacto sobre la estanqueidad al aire del edificio y las fugas a través de las fachadas se ven muy limitadas y, por tanto, al aumentar la estanqueidad del aire, hace que la renovación natural de aire sea inferior y, por lo tanto, la calidad del aire en interiores puede reducirse drásticamente.

El proyecto E2VENT da respuesta a esta situación, incluyendo un sistema de renovación mecánica adaptado para una fachada ventilada. TECNALIA RESEARCH & INNOVATION ha desarrollado un intercambiador aire-aire, denominado Smart Modular Heat Recovery Unit (SMHRU), que permite la renovación de parte del aire del edificio rehabilitado sin añadir pérdidas de energía asociadas.

Tras analizar el rendimiento de un primer prototipo en las instalaciones de la empresa, un segundo ha sido elaborado con el objetivo de mejorar sus prestaciones y características funcionales.

## El Proyecto

El proyecto E2VENT está financiado por la Comisión Europea bajo el Tópico de Energía de Horizon 2020 para la investigación y el desarrollo tecnológico. El objetivo del proyecto es desarrollar, demostrar y validar una aproximación sistemática, de bajo coste, muy eficiente en energía, de bajo consumo de CO<sub>2</sub>, replicable y poco intrusiva para la rehabilitación de edificios residenciales y comerciales, capaz de alcanzar altos niveles de ahorro energético a través de la integración de un sistema innovador de fachada ventilada adaptable.

El sistema E2VENT es una solución de rehabilitación térmica externa con recubrimiento externo y cavidad de aire que une diferentes tecnologías punteras que garantizarán una alta eficiencia incluyendo:

- Una Unidad de Recuperación de Calor Modular e Inteligente (SMHRU)
- Un Almacenamiento de Energía de Calor Térmico Latente (LHTES)
- Un gestor inteligente que controla el sistema en tiempo real teniendo como objetivo funcionamientos óptimos.
- Un sistema eficiente de anclaje que limita los puentes térmicos y permite una instalación sencilla y robusta.

## Metodología

Se pueden encontrar sistemas de recuperación de calor aire-aire de diferentes tipos, tamaños y configuraciones. Como el SMHRU debe de entrar dentro del módulo E2VENT y este va instalado en la cavidad entre la pared y el revestimiento, el diseño ha de ser lo más compacto posible. Por esa razón, la configuración más favorable ha sido la de diseñar un intercambiador con *fin-plates* dado que se caracterizan por su alta eficacia, compacidad, bajo peso y coste moderado.

Para la confección del SMHRU se han seleccionado los platos OSF (Offset Strip Plates). Estos platos son utilizados en gran variedad de procesos industriales ya que se considera que tienen una de las mejores geometrías de transferencia de calor relativamente al factor de fricción. Las características de los platos seleccionados se presentan a continuación:

**Tipo de aleta: 1/8 Lanced OSF:**

Longitud de lanza: 3.175mm.  
Material: Aluminio 3003.

**Dimensiones generales de aleta:**

Espesor de material: 0.304mm.  
Altura de aleta: 12.49mm.  
Aletas por pulgada: 8.

**Dimensiones generales de platos:**

Longitud de caudal: 250mm.  
Corte: 350mm.

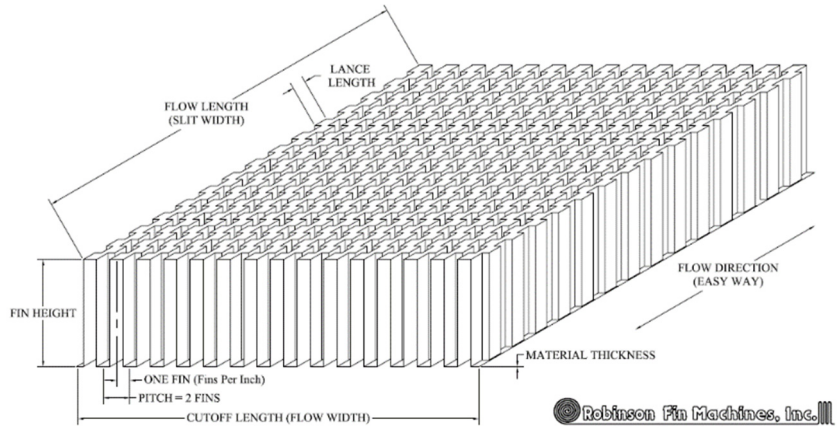


Figura 1. Esquema de platos y terminología.

Se hizo un primer modelado termodinámico del prototipo utilizando el programa EES con el fin de definir la configuración del primer prototipo. Para este modelado se adoptaron unas supuestas:

- Las condiciones de trabajo están en estado estacionario, lo que significa que las variaciones de las condiciones de funcionamiento no son consideradas.
- El factor de ensuciamiento no es considerado en el modelado termal ya que convencionalmente es insignificante en las aplicaciones de gas-gas.
- El coeficiente de transferencia de calor se supone uniforme en todo el intercambiador.

Los resultados de la simulación en la Figura 2 muestran que la eficiencia aumenta con la longitud de las dos placas instaladas a contracorriente. El SMHRU logra una eficiencia entre el 70 y el 87% para las longitudes de entre 500 y 1.500 mm cuando un caudal nominal al  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  es considerado. Para una longitud de 1.000mm se consigue una eficiencia mayor al 80%. Una longitud mayor no supone una gran diferencia en cuanto a eficiencia.

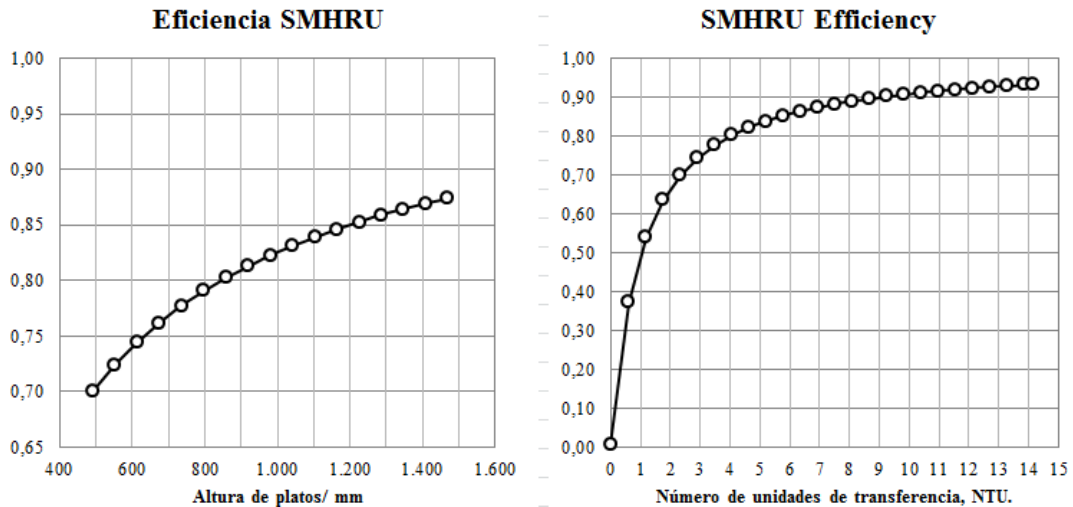


Figura 2. Eficiencia del SMHRU dependiendo de la longitud en mm. Eficiencia comparada con el número de unidades de transferencia NTU.

### Set-Up experimental

El laboratorio construido, mostrado el esquema en la Figura 3, opera en modo continuo y se testó el SMHRU a la temperatura y el caudal deseado. Se compone de dos cámaras climáticas donde los requisitos de temperatura de entrada se obtienen mediante resistencias eléctricas en el caso del circuito caliente y se instaló un sistema de aire acondicionado para el circuito frío del SMHRU. Se pueden obtener temperaturas de hasta 50°C y -10°C. Para una correcta circulación y homogeneidad en las temperaturas del aire, se instalaron dos ventiladores en cada una de las cámaras.

## RESULTADOS

Las siguientes ecuaciones y parámetros se utilizan para evaluar el rendimiento del SMHRU. La eficiencia del SMHRU se calcula a partir de la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de una de las corrientes y la diferencia de temperatura máxima. Cuando se considera un flujo constante e igual en las dos corrientes, la eficiencia global puede calcularse mediante la ecuación (1):

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad (1)$$

La capacidad de transferencia de calor en el SMHRU puede calcularse teniendo en cuenta los caudales de entrada en cada circuito y las temperaturas de entrada y salida. La siguiente tabla resume las condiciones de prueba y los resultados, es decir, temperatura de salida, eficiencia y capacidad de las corrientes frías y calientes, obtenidas a partir de las mediciones.

Véase esquema del banco de ensayos en la siguiente figura.

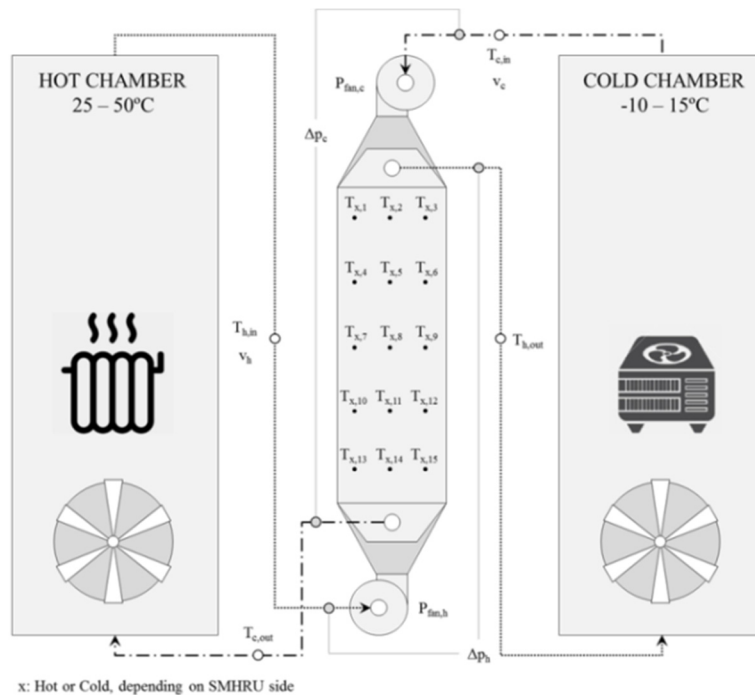


Figura 3. Esquema de la instalación de testeo y parámetros medidos.

	$T_{h,in}$ °C	$q_h$ $m^3 \cdot h^{-1}$	$T_{c,in}$ °C	$q_c$ $m^3 \cdot h^{-1}$	$\Delta T_{max}$ K	$T_{h,out}$ °C	$T_{c,out}$ °C	$\epsilon_h$ %	$\epsilon_c$ %	$Q_h$ W
Test 1	30.38	4.98	16.94	4.91	13.44	21.17	27.45	68.55	78.16	16.56
Test 2	30.07	9.93	15.77	9.85	14.30	20.58	28.20	66.46	86.89	34.06
Test 3	30.96	15.08	15.48	15.04	15.49	20.45	27.93	67.91	80.48	57.23
Test 4	30.13	20.22	15.24	20.26	14.90	20.99	27.77	61.44	61.44	66.72
Test 5	29.35	22.78	15.23	22.71	14.12	21.21	27.16	57.66	57.66	66.89

Tabla IV. Condiciones de tests y parámetros de rendimientos del SMHRU.

Estos primeros ensayos mostraron que el aumento del flujo de entrada disminuye la eficiencia del SMHRU aunque mantiene la distribución de aire aceptablemente. La capacidad de transferencia de calor aumentó de 16.56 a 66,89 W, en el caso de la corriente caliente y de 18,63 a 97.86 W para la frío.

Tras el análisis realizado en el laboratorio se comprobó que el rendimiento obtenido con el modelo estaba en concordancia con los resultados obtenidos en los tests. Se puede comprobar en la siguiente ilustración:

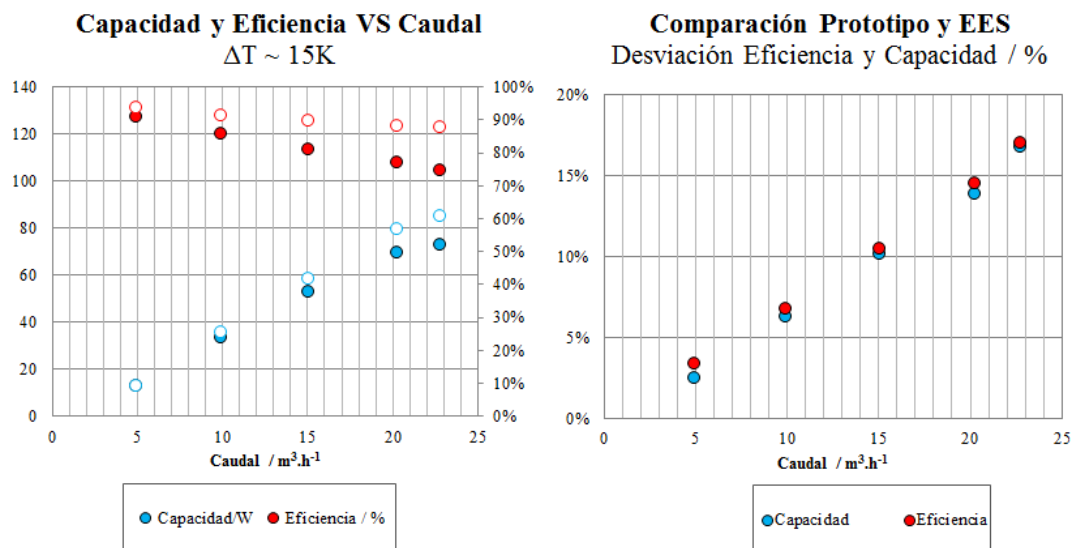


Figura 4. Capacidad y eficiencias del SMHRU con diferentes caudales. Comparación del modelo EES y rendimiento del prototipo.

Las conclusiones obtenidas del análisis realizado con el primer prototipo han servido para diseñar un nuevo prototipo que ha sido fabricado en Grecia por la empresa ELVAL COLOUR tras un rediseño elaborado por el Área de Eficiencia Energética y Sostenibilidad de Tecnalia Research & Innovation. Dicho nuevo prototipo ha sido modificado con un nuevo distribuidor y unos ventiladores capaces de dar mayores caudales que los instalados en el primero. Los detalles y diferencias entre el primer prototipo y el segundo se ven en la siguiente figura.

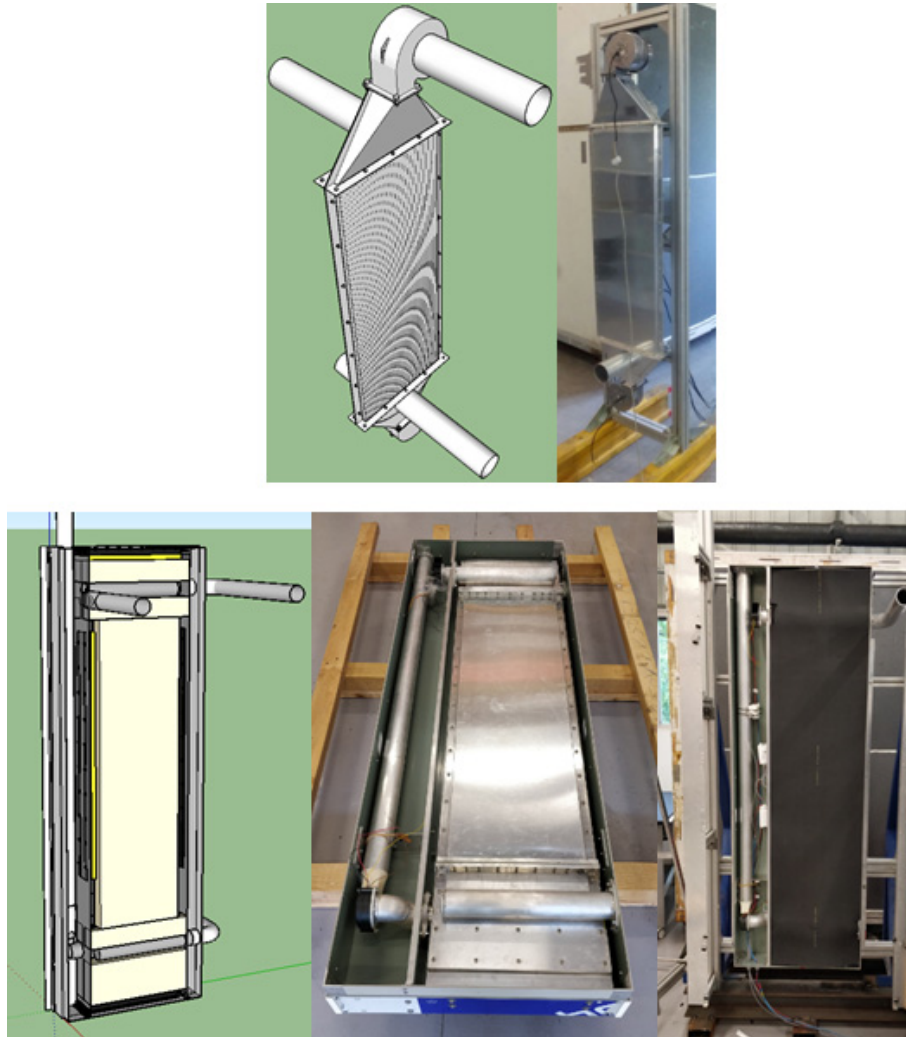


Figura 5. Diseño y prototipo 1 (Arriba). Diseño y prototipo 2 (Abajo).

## CONCLUSIONES

Los primeros resultados experimentales mostraron que el rendimiento obtenido basándose en las mediciones del prototipo se asemejó al rendimiento esperado con el modelo. Tras un profundo análisis se vio que, al aumentar el caudal, el rendimiento bajaba considerablemente debido, sobre todo, por la incorrecta distribución del aire en el interior de la unidad. A su vez, se determinó que un cambio de los ventiladores era totalmente necesario debido al bajo rendimiento obtenido por los instalados a primera instancia. En el segundo prototipo, se ha rediseñado por completo el distribuidor y se han instalado unos nuevos ventiladores capaces de dar caudales superiores a  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Nuevos ensayos van ser realizados en los meses venideros con el objetivo de analizar el rendimiento del nuevo prototipo.

## REFERENCIAS

- <http://www.robfin.com> (7 de Julio 2015)

# AHORROS ENERGÉTICOS EN EDIFICIOS CON MURO CORTINA DE VIDRIO Y DOBLE PIEL METÁLICA

Patxi Rubin, Director Técnico, IMAR

**Resumen:** Hay diferentes estrategias para conseguir edificios de energía casi nula. El uso de dobles pieles metálicas semitransparentes sobre una fachada de vidrio, aunque no es una solución definitiva en sí misma, puede ayudar a conseguir el objetivo trabajando conjuntamente con alguna otra más. Hay diferentes tipos de soluciones metálicas para conseguir un tamizado óptimo de la luz y además dar buena prestancia al edificio. Con una buena selección utilizando programas de simulación energética y siguiendo unos protocolos correctos se puede diseñar dobles pieles con ahorros estimado de consumo eléctrico de hasta un 40%. Además, el uso de pieles metálicas garantiza un menor impacto medioambiental por tratarse de materiales altamente reciclables.

**Palabras clave:** Doble Piel, Piel Metálica, Chapa Perforada, Deployé, Muro Cortina, Ahorro Energético

## INTRODUCCIÓN: USO DE MUROS CORTINA Y DOBLES PIELES

Hay diferentes estrategias para conseguir edificios de energía casi nula. La que vamos a tratar a continuación no es una solución definitiva en sí misma, pero puede ayudar a conseguir el objetivo trabajando conjuntamente con alguna otra más.

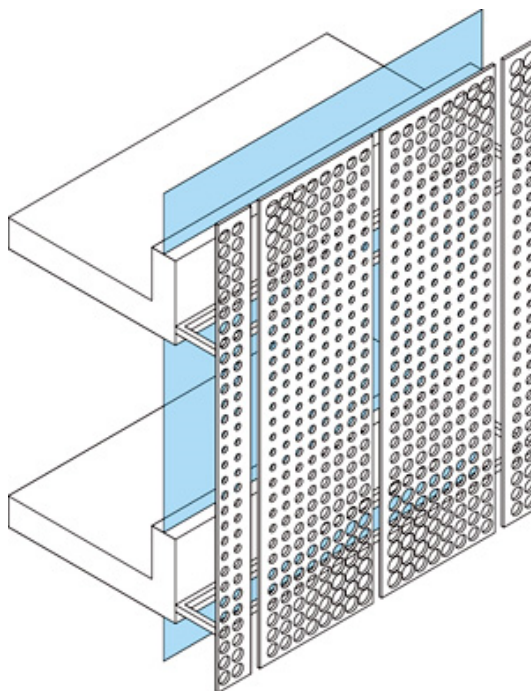


Figura 1. Esquema típico solución doble piel vidrio-metal.

La tendencia actual, sobre todo en edificios terciarios, es la de tener fachadas acristaladas para conseguir el máximo aprovechamiento de los recursos luminosos del sol durante los períodos de uso previsto que va a tener el edificio, con la reducción en consumo eléctrico asociado que esto supone. Se sabe que esta solución es muy eficaz en los países del norte de Europa, sobre todo en latitudes mayores que Berlín. Pero en latitudes menores, una fachada simplemente de vidrio no es una buena solución desde el punto de vista energético si se tienen en cuenta los consumos globales de calefacción/refrigeración y luz del edificio a lo largo de todo un año debido a las altas ganancias térmicas que se producen por efecto invernadero. Es decir, no solamente hay que tener en cuenta el confort lumínico y el ahorro energético asociado que puede producir una pared de vidrio transparente, si no la carga de refrigeración extra que

hay que aportar para compensar los aumentos de temperatura que se producen por efecto invernadero de la radiación solar incidente en ciertas épocas del año.

Aun así, los muros cortinas de vidrio tiene muchas ventajas de cara al ahorro lumínico y sensación de amplitud que proporciona, además de la reducción de plazos en montaje, reducción de pesos de estructura y calidad de acabados. Para tratar de aprovechar estas prestaciones y reducir las desventajas, desde hace mucho tiempo se ha adoptado como mejora la inclusión de una capa semitransparente, generalmente metálica, por la parte exterior de la hoja de vidrio, de tal manera que tamiza la cantidad de radiación que atraviesa la fachada hacia el interior del edificio.

Pero tampoco cualquier capa es válida para cada situación en cuanto a la reducción de la cantidad de radiación que deja pasar, sino que dependiendo de cada ubicación y orientación hay una solución óptima de transparencia, ya que lo que puede ser beneficioso en una latitud determinada, puede que no lo sea en otra porque evite la entrada de la luz en exceso. Además, si analizamos el consumo global de un edificio durante todo un año, puede ser que en determinadas épocas una solución de doble piel pueda ser muy buena y en cambio en otras épocas sea muy perjudicial. Incluso la zona climática puede ser muy influyente de cara a la eficacia de estas alternativas.

Hay diferentes tipos de soluciones metálicas para conseguir un tamizado óptimo de la luz y además dar buena prestación al edificio: chapa perforada, metal expandido, mallas metálicas, membranas textiles, etc. Con una buena selección utilizando programas de simulación energética y siguiendo unos protocolos correctos se puede diseñar dobles pieles con ahorros estimado de consumo eléctrico de hasta un 40%. Además, el uso de pieles metálicas garantiza un menor impacto medioambiental por tratarse de materiales altamente reciclables.

## HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y DISEÑO

La selección de la solución óptima de la hoja exterior de una doble piel no debe estar basada únicamente en criterios estéticos y no se debe dejar como cuestión secundaria en la fase de concepción del proyecto. Al tratarse de una solución que tiene que integrarse con otras para la consecución de un EECN, su diseño debe estar muy presente desde el principio.

Por normativa CTE todos los edificios tienen que estar clasificados energéticamente antes de su construcción y esta clasificación se hace bajo criterios estándar en base a datos obtenidos mediante programas de simulación energética cada vez más sofisticados que tienen en cuenta todas las variables que pueden afectar al consumo energético de los edificios. Estos programas generalmente utilizan como datos de partida las caracterizaciones de las soluciones constructivas, orientación y ubicación del edificio, uso previsto, sistemas HVAC e iluminación, etc. y lo que hacen es simular su comportamiento a lo largo de un año típico en base a históricos de temperatura y posición del sol en cada época del año para un lugar concreto.

Es cierto que hay multitud de programas que resuelven estos aspectos de manera más o menos fiel, pero también es cierto que no todos están desarrollados para resolver con la misma fidelidad todas las posibles casuísticas que se dan a la hora de diseñar un edificio. En el caso que estamos analizando, dobles pieles metálicas perforadas, hay algunos que han resultado ser más adecuados para el análisis al poder incluir en los datos de partida representaciones paramétricas de elementos constructivos y que además incorporan análisis de CFDs, importante para ver el flujo térmico a lo largo de la zona que queda entre capas.

Después de hacer test y comparativas con los diferentes programas generalistas que están en el mercado se ha comprobado que los que dan resultados más fieles a la hora de modelizar las dobles pieles de muro cortina de vidrio con fachada perforada metálica son:

- el ECOTEC para el análisis de la radiación solar por el número y la variedad de análisis casi ilimitados que ofrece, la flexibilidad en la introducción de datos e importación desde otros programas, fiabilidad y eficiencia en el análisis, posibilidad de exportación de datos y escala libre que permite analizar una parte elemental de una fachada.
- el BENTLEY TAS SIMULATOR para la simulación energética porque consume muy pocos recursos computacionales, tiene motor de cálculo propio, permite parametrizar una chapa perforada teniendo en cuenta sus perforaciones de forma totalmente fiel, considera la zona intersticial entre las dos pieles como zona térmica independiente y fiabilidad demostrada por IEA BESTEST [1].

Pero no solamente hay que tener en cuenta el ahorro energético en HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) que se produce al implementar una solución de fachada de muro cortina de vidrio más una piel metálica perforada, sino que también hay que considerar el aumento en carga de iluminación que se produce por el efecto de poner una piel metálica semitransparente que evita en parte el paso de luz.



*Figura 2. Doble piel vidrio-metal expandido.*

## ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

De cara a tener definida una guía orientativa de soluciones estándar y típicas a adoptar en este tipo de proyectos se realizó una batería de simulaciones con los programas anteriormente mencionados, teniendo en cuenta la misma solución constructiva de fachada, diferentes áreas perforadas y diferentes distancias entre pieles para tratar de ver cuál era la solución óptima en función de la latitud y ubicación del edificio.

Las configuraciones de doble piel que se utilizaron para las simulaciones distinguían dos casos: la chapa perforada y el metal expandido o deployé. La primera de ellas, chapa perforada, se refiere a una simple chapa metálica perforada con un patrón regular de agujeros y porcentajes de área abierta estándar y la segunda de ellas, el metal expandido, es una malla conformada rasgando y estirando el metal.



*Figura 3. Doble piel vidrio-metal perforado.*



## RESULTADOS

El resultado de esa batería de simulaciones se puede ver en la gráfica 4. En ella se refleja el resultado de comparar una solución de fachada con muro cortina simple y con un vidrio térmico de altas prestaciones contra una fachada con un vidrio solar normal más una doble piel metálica, en 5 latitudes diferentes y teniendo en cuenta el clima local. Se aprecia que, analizando fachada por fachada, en general donde más ahorro se produce es en las fachadas ESTE y OESTE llegando en algunos casos hasta el 30% dependiendo del porcentaje de área perforada que se elija y la ubicación del edificio. También se ve que en cualquier caso esta solución no es recomendable (incluso penaliza) en latitudes por encima de Berlín, donde las fachadas de vidrio son una buena solución por sí mismas.

AHORRO ENERGÉTICO RELATIVO / Vidrio Térmico Vs. Chapa PERFORADA

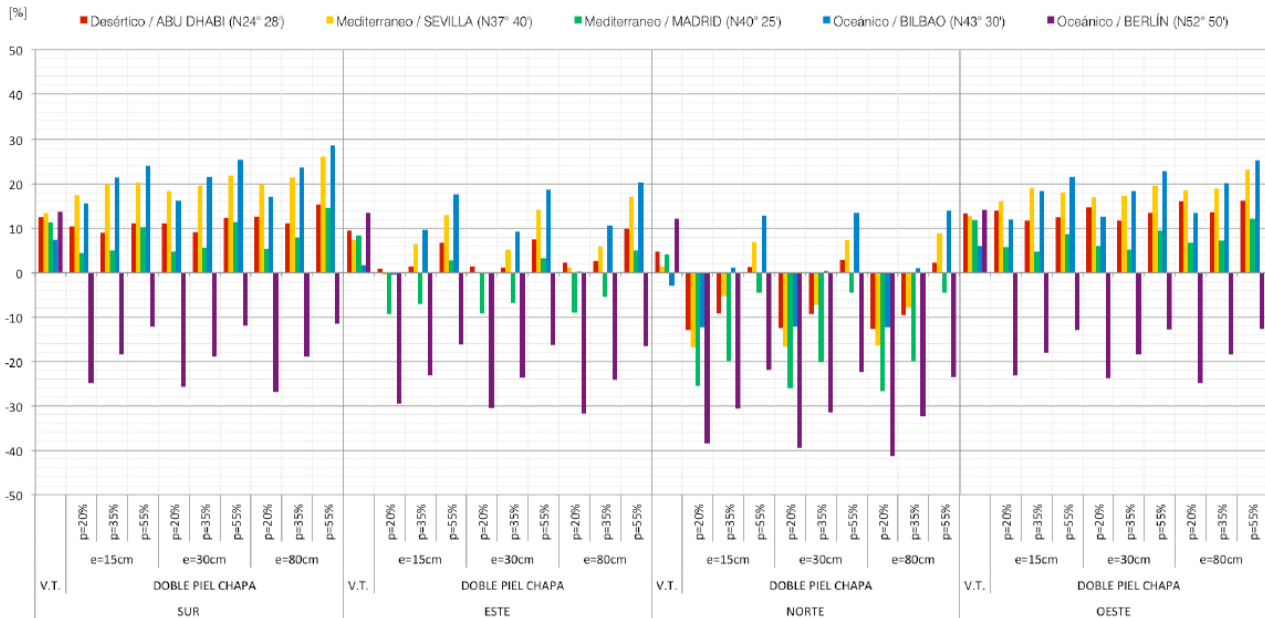


Figura 4. Ahorros energéticos relativos.

## CONCLUSIONES

En la tabla I se resume de manera muy visual y directa donde es recomendable implantar una solución de doble piel a nivel de orientación de fachada y área perforada. La mejor solución parece ser la de un 55% de área perforada y una piel metálica separada 80cm del muro cortina de vidrio. La verdad es que el clima local influye mucho y cuando se hace el análisis anual en ciertas regiones parece que tiene mejora significativa en cuanto al consumo energético de HVAC, aunque es cierto que no en todas las fachadas por igual. De todas formas, además del ahorro energético que supone la incorporación de este tipo de soluciones a las fachadas de los edificios también hay que tener en cuenta las posibilidades estéticas que ofrece la chapa perforada o el metal expandido.

## AGRADECIMIENTOS

Manuel Sáenz Sancho BIM Architect y Fundación Rafael Escolá-Idom.

## REFERENCIAS

- Manuel Sáenz Sancho, "Soluciones globales de chapa de metal perforado y expandido para envolventes arquitectónicas." [Proyecto de Investigación para Industrias IMAR, S.A., julio 2011]
- [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-69962012000300017](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962012000300017) (26 septiembre 2017)

Vidrio Térmico\* vs. Chapa PERFORADA ó EXPANDIDA /// CONCLUSIONES

TIPOLOGÍA DE ENVOLVENTE		ZONA CLIMÁTICA																				
		DESÉRTICO				MEDITERRANEO				MEDITERRANEO CONT.				OCEÁNICO				OCEÁNICO				
		ABU DHABI (N24° 28')				SEVILLA (N37° 40')				MADRID (N40° 25')				BILBAO (N43° 30')				BERLÍN (N52° 50')				
		S	E	N	O	S	E	N	O	S	E	N	O	S	E	N	O	S	E	N	O	
DOBLE PIEL DE CHAPA PERFORADA	e = 15cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 30cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 80cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 15cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 30cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 80cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 15cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
	e = 30cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%
e = 80cm	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	20%	35%	55%	

\* GUARDIAN SOLAR 6-16-4 (Extra Clear+SunGuard Solar Neutral 67+Aire+ClimaGuard Premium+Extra Clear)

Tabla I. Resumen comparativa soluciones doble piel.

Notas al final

- [1] IEA BESTES es un método desarrollado por el U.S. Department of Energy que compara modelos de simulación con otros modelos y métodos que ya han demostrado su fiabilidad.

## EDIFICIOS CON SOLUCIÓN CENTRALIZADA DE BOMBA DE CALOR Y DESCENTRALIZADA DE VENTILACION CON RECUPERACIÓN DE CALOR

**Germán Almendáriz Jiménez**, Responsable Mercado de Nueva Edificación y Terciario, Vaillant

**Resumen:** Los nuevos parámetros de edificación traen importantes retos que piden modernizar e innovar de forma generalizada el statu quo en relación con el confort. Proponemos una alternativa que aúna energías renovables, máxima eficiencia energética y confort al mayor nivel y defiende un nuevo tipo de construcción, planteando una solución y casos prácticos con datos reales de funcionamiento. Se trata de un sistema centralizado con Bomba de Calor geotérmica, emisión a través de Suelo Radiante y ACS con el mismo sistema. De forma coordinada el sistema genera la renovación de aire con recuperación de calor. La solución aborda todos los parámetros de confort higrotérmico, salubridad del aire y una mayor libertad en el diseño y decoración de las viviendas.

**Palabras clave:** Geotermia, Aerotermia, Ventilación, Recuperación, Cascada, Centralizada, Eficiencia, Ahorro, Confort, Climatización

### SOLUCIONES DE CLIMATIZACIÓN CENTRALIZADAS CON BOMBAS DE CALOR PARA EDIFICIOS EN ALTURA

Los nuevos retos en materia de construcción, edificación y consumo, tienen un impacto directo en el desarrollo del diseño y soluciones de confort en edificios, siendo la tendencia hacia sistemas completos HVAC (calefacción, ventilación, refrigeración, incluyendo la producción de agua caliente sanitaria), tratando de dar respuesta a las exigencias de la normativa vigente en edificios residenciales (certificación energética, requisitos de ventilación, sistemas renovables) y a la creciente demanda de sistemas eficientes y de bajo consumo energético. Las soluciones integrales, que preferentemente funcionen bajo una única regulación, son el aporte ideal para las necesidades descritas. Para ello, Vaillant diseña sistemas de generación centralizada para viviendas, bien sea individuales o en bloque, o pequeños edificios terciarios, con cascadas de bombas de calor geotérmicas o aerotérmicas, según las necesidades y las características de los edificios. La novedad reside en la posibilidad de alcanzar la máxima calificación energética A y otros certificados existentes en el mercado, relacionados con la eficiencia, sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

#### Introducción

Los sistemas de climatización con bomba de calor constituyen la mejor opción para obtener el máximo nivel de eficiencia en la generación de confort en edificios. La sencilla combinación de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria lo convierte en la solución menos agresiva con el entorno, de menor gasto energético y más versátil. Además, es posible incrementar el confort de la instalación con un sistema que, además de garantizar el cumplimiento de los requisitos de renovación del aire, evita la pérdida de energía en el aire de extracción, reduciendo las necesidades energéticas globales y con ello la inversión inicial.

El presente documento pretende profundizar en la integración en la edificación de este tipo de soluciones y sus aspectos singulares, como son la gestión de las cascadas de bombas de calor según la demanda puntual y estacional del edificio, y su especial configuración para satisfacer de forma simultánea las necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

#### Caso práctico - promoción Calanda Homes

Cuando se recibió el proyecto de la promoción Calanda Homes, una instalación de 89 viviendas en altura en Madrid, se partía con la exigencia de un sistema de climatización de gran eficiencia energética que aportara el máximo confort. Ello condujo a la elección de un sistema de aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía. La amplia experiencia acumulada en esta tecnología permitió afrontar el reto con seguridad, proponiendo soluciones altamente eficientes y un material de muy alta calidad y fiabilidad.

Para alcanzar el ambicioso nivel de eficiencia que se planteó como objetivo, se propuso la instalación de generadores geotérmicos geoTHERM VWS 460/3 (sumando un total de 500 kW en generación), con un esquema de generación a 4 tubos, aunque la distribución del edificio estuviera diseñada a 2 tubos.

Por otra parte, y para alcanzar este nivel de exigencia, la instalación debía contar con emisores radiantes frente a otro tipo de emisores por convención, por constituir la mejor alternativa para conseguir altos niveles de confort y eficiencia.

Abordado el aporte de energía para climatizar las viviendas, queda por resolver una componente de carga relevante en este tipo de edificios: la ventilación. Para reducir dicha carga, se optó por un sistema de ventilación con de recuperación de aire por doble flujo. Un equipo autónomo de ventilación mecánica controlada con recuperación de calor por vivienda, con el sistema de distribución para la extracción de aire de las zonas húmedas (cocinas y baños) e impulsión en zonas secas (dormitorios y salones).



*Figura 1. Imagen general del edificio en su estado definitivo.*

En resumen, se decidió implementar un sistema con bombas de calor en cascada por los siguientes motivos:

- Es el generador más eficiente y permite disponer simultáneamente de calor y de frío en un único sistema.
- No se ve afectado por las altas temperaturas de verano ni las bajas en invierno que se puedan dar en la zona.
- No se precisa de ninguna máquina al exterior que moleste, produzca ruidos o cree peligro.
- Es más fiable y tiene mayor vida útil que los sistemas con ciclo frigorífico reversible.
- Mínima carga de refrigerante frente a instalaciones split o VRV y por ello más ecológica y económica en su mantenimiento.

Esta es la parte en la que Vaillant como fabricante asumió la responsabilidad mediante la propuesta de un sistema multi máquina, con Diseño del sistema de generación que se completa con 4 acumuladores de energía (1 para Calor, 1 para Frío y 2 para ACS) y todo ello controlado con un cuadro de gestión Vaillant.

El acumulador de frío, de 4000 litros de capacidad, suficiente para cubrir las demandas de refrigeración. Las condiciones de humedad de Madrid permiten trabajar con altas temperaturas de refrigeración, dada la baja humedad de la zona en verano. Por otro lado, se aprovecha al máximo las temperaturas del sondeo para refrigerar en lo posible de esta forma (free-cooling) sin necesidad de utilizar los generadores geotérmicos, gracias al control de cascadas.

El acumulador de calor, de 4000 litros de capacidad, suficiente para cubrir las cargas de calefacción mediante fancoils y a una temperatura entre 35-45°C, que permite un alto rendimiento de los generadores.

La acumulación de ACS, con 2 depósitos de 5000 litros de capacidad cada uno, se diseñó para acumular agua sanitaria a bajas temperaturas. En época de refrigeración (en Madrid, zona de altas temperaturas y periodo amplio) la carga por ACS se ve disminuida prácticamente a cero ya que, mientras existe demanda de refrigeración, la demanda de ACS es gratuita. El control integrador de la instalación permite permutar entre el campo de captadores y los distintos sumideros de calor (ACS y piscina) en función de las condiciones puntuales y demandas de cada servicio.

Se reduce el consumo global generado por la circulación de fluido mediante la selección de bombas de recirculación de alta eficiencia. En algún caso, como el del campo de captadores, se instala un circulador modulante. El diseño del sistema hidráulico se basa en el tradicional sistema de generación Vaillant a 4 tubos.

Con todo ello el sistema se basa principalmente en trasegar el calor de un acumulador a otro, consiguiendo de este modo un considerable ahorro de energía. Los pozos de captación sólo son necesarios, en calor o frío, cuando hay una única demanda de calor o refrigeración, lo que permite que éstos no sufran un excesivo desgaste.

Por otra parte, la potencia de generación necesaria para cubrir la demanda del sistema, se distribuye en 10 generadores geotérmicos Vaillant VWS 460/3 de alta eficiencia, dimensionados de tal forma que irán entrando o saliendo en función de la demanda y alternándose para que cada uno de ellos tenga las mismas horas de funcionamiento, con el fin de alargar su vida útil.

Se destina 5 generadores para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración, y otros 5 generadores adicionales para calefacción y refrigeración. Se debe recordar que la demanda de calefacción y ACS aportan refrigeración. Con ello, aunque se cubriera la demanda de ACS, nunca se cesa de cubrir la demanda de calefacción y, una vez finalizada la demanda de ACS, se dispone de 10 generadores para cubrir la de calefacción. Esto no es así en refrigeración ya que, aunque exista demanda de ACS, la demanda de frío se cubre con hasta 10 generadores.



*Figura 2. Simulación de un sistema de generación con bombas de calor geotérmicas en cascada. Con respecto a la instalación objeto de este informe, se amplía la cascada a 10 equipos y se eleva el número de acumuladores a 4 (1 de calefacción, 1 de refrigeración y 2 de ACS). Fuente: Vaillant.*

### **Gestión del sistema**

El control del sistema de generación es especialmente complejo, ya que debe tener en cuenta un gran número de parámetros, tanto de control como de seguridad y gestionar eficientemente 10 generadores. Por ello, se selecciona

un cuadro de gestión de cascadas Vaillant CC 460/2S. Este cuadro de gestión es altamente parametrizable y cubre perfectamente las exigencias demandadas.

- Gestión en cascada de hasta 10 generadores + 1 apoyo para calefacción y ACS
- Gestión de frío pasivo (free-cooling)
- Entradas externas digitales.
- Salidas tanto digitales como analógicas para control de los elementos que componen la instalación.
- En el caso de hibridación determina en función del régimen de trabajo que generador es prioritario.
- Dispone de horarios de funcionamiento para ACS, calefacción y refrigeración.
- Gestión anti-legionella.
- Opciones de comunicación mediante BACnet

## ESQUEMA

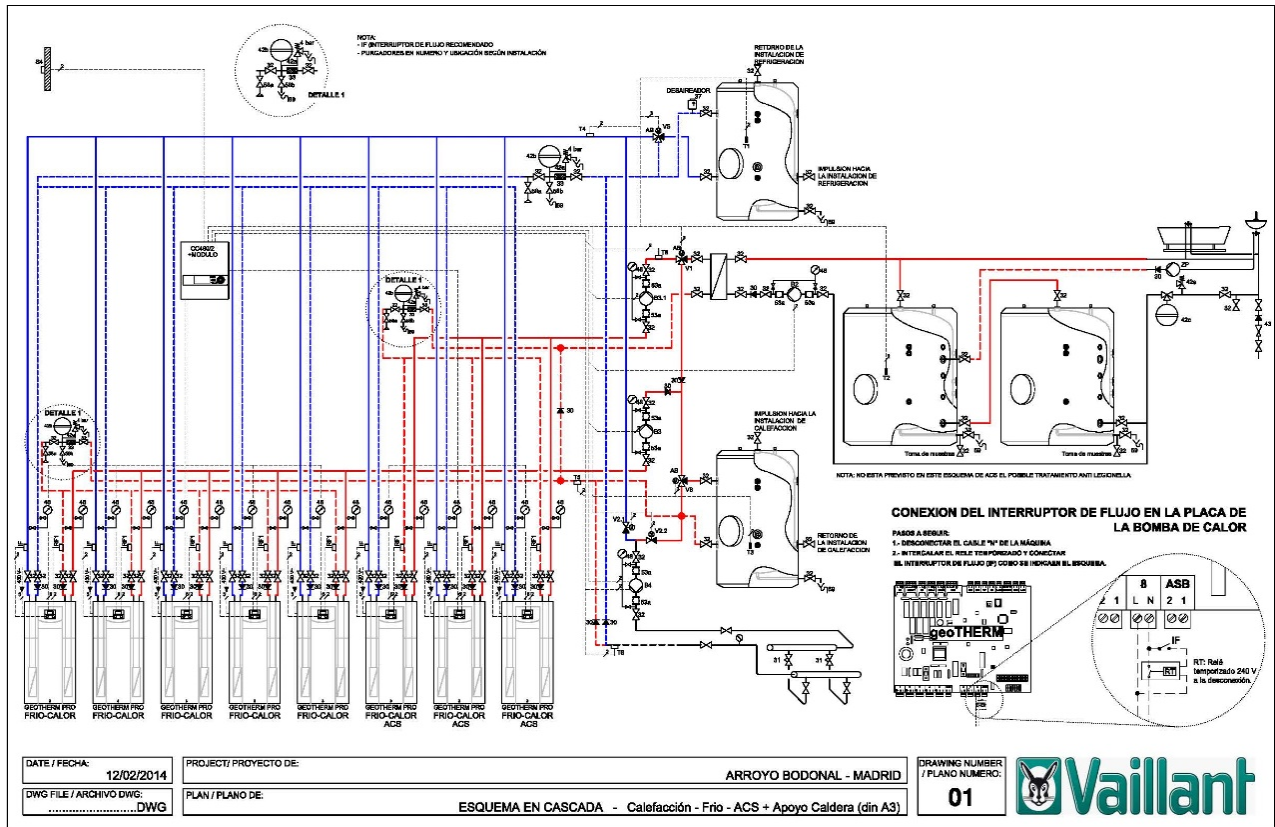


Figura 3. Esquema de principio de la instalación de generación. Cascada de 10 bombas de calor geotérmicas gestionada por una única centralita, con aprovechamiento energético de la demanda simultánea de calefacción, refrigeración y ACS. Fuente: Vaillant.

## CONCLUSIONES

Este proyecto es pionero en nuestro país por la implantación e integración de sistemas de eficiencia energética en edificios residenciales en altura, para conseguir niveles de consumos muy por debajo de lo habitualmente alcanzado en la construcción estándar de este tipo de edificaciones.

La combinación de un sistema de generación de bajo consumo y una solución para la recuperación de calor en la ventilación, aportando la mejor versión de los sistemas exigidos en nuestro entorno normativo, demuestran la bondad de un alto coste inicial frente a sistemas con un coste de establecimiento claramente inferior.

## EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DE TIPO RESIDENCIAL (MULTIFAMILIAR) ALCANZANDO UN COSTO DE CONSTRUCCIÓN SIMILAR A LOS EDIFICIOS CONVENCIONALES

**Domingo González Arias**, Ingeniero Técnico Industrial, Saunier Duval

**Resumen:** El edificio residencial objeto del artículo “Edificio Iris”, se ha construido con los criterios de sostenibilidad para ser de “Consumo de Energía Casi Nula” (nZEB), aunando los criterios de confortabilidad, versatilidad de las instalaciones, ahorro de energía, ecología, el costo de la edificación y la habitabilidad. El lema de la promoción es: agua, luz y vida. Se trata de una urbanización privada, con zonas verdes, piscina comunitaria exterior y spa cubierto, gimnasio, pista de pádel y zona infantil que la convierten en un novedoso concepto residencial en la ciudad de Zaragoza. La construcción y el diseño de sus instalaciones tienen el objetivo de reducir al mínimo la dependencia de las energías convencionales, utilizando mayoritariamente la energía renovable más sencilla y rentable. Hemos apostado por los equipos de “Aeroterminia compacta uso individual” independiente la climatización de la producción de agua caliente sanitaria (en adelante ACS), que proporciona la versatilidad de uso a los usuarios. Consideramos importante, para minimizar las pérdidas de energía calorífica, acercar lo máximo posible los equipos generadores a los puntos de consumo, también así proporciona mayor durabilidad y menor mantenimiento a la instalación. El logro que se ha alcanzado es que se consiguió un edificio de muy alto nivel a costo de otros convencionales.

**Palabras clave:** Ahorro, Ecología y Habitabilidad a Precios Competitivos

### INTRODUCCIÓN

Se ha diseñado y construido bajo las siguientes premisas:

- Construcción mediambientalmente sostenible considerando la huella de carbono de los materiales utilizados.
- Se potencia al máximo el concepto de “Eficiencia Energética”, pues consideramos que es donde la inversión es más rentable junto con la buena elección de los cerramientos y compacidad del edificio. Para ello hemos utilizado los sistemas con los que menor energía útil se necesita, para asegurar las condiciones de confort más exigentes. Se han utilizado sistemas de climatización ecológica de Saunier Duval, autoadaptativos en potencia y temperatura, que averiguan en cada momento la necesidad de energía en cada una de las viviendas y se adaptan automáticamente a estas condiciones. Así se consigue el mejor rendimiento estacional y el mínimo consumo.
- Utilización de sistemas renovables de aeroterminia compacta (bomba de calor aire/agua), de uso individual. Una para los servicios de climatización (calefacción y refrigeración) y otra independiente denominada “dedicada” solo para el agua caliente sanitaria (ACS) sistema por acumulación que se centralizan por escalera para alimentar a 7 u 8 viviendas. Tanto en los equipos individuales de aeroterminia como en las bombas de calor aire/agua de ACS, se ha buscado acercar lo máximo posible la producción a los puntos de consumo minimizando las pérdidas por distribución y también por las paredes de los depósitos. Se aplica energía solar térmica que supera la cobertura del 70%.
- Instalación interior para emisión y absorción de calor se realizará por suelo radiante para climatización utilizando agua a baja temperatura, según estudio y productos de la marca Saunier Duval. Este es el sistema de climatización que mejor alcanza las condiciones de confort más exigente y con la que menor cantidad de energía útil empleada, lo que, junto a un sistema de generación y regulación correcto, permite la mejor relación entre energía útil y energía final.
- Dispone de ventilación con recuperador de alto rendimiento.
- Se ha buscado la mejor relación entre la inversión y amortización desde el concepto global de funcionamiento, siguiendo las instrucciones de la Directiva Europea 2012/27 (considerando: instalación, mantenimiento, reposición y costos de explotación, respecto al ciclo de vida del edificio).
- El edificio se orienta Norte a Sur para buscar el asoleamiento ideal, desarrollando en él tres conceptos fundamentales para el hogar: agua, luz y vida.
- A la vez se han diseñado elementos pasivos que aprovechan la energía en invierno y protegen al edificio de la radiación directa en verano.
- Con todo ello se ha conseguido un costo de venta tan ajustado que es similar a las construcciones convencionales.

Se ubica en una vía de conexión principal de Zaragoza: **Vía Hispanidad 131.**

## El Proyecto

El edificio está situado en la zona climática D3 en la localidad de Zaragoza. Dispone de una superficie de parcela de 3000 m<sup>2</sup>, con una superficie habitable de 3557,39 m<sup>2</sup>. Consta de 58 viviendas, repartidas en 3 bloques con 8 escaleras en total y con 3 alturas más baja.

Los coeficientes de transmitancia (W/m<sup>2</sup>K) principales que se han empleado en el cerramiento exterior son:

Cubierta	0,25
Fachadas	0,29
Pared con el terreno	3,1
Suelo sobre exterior	0,31
Hueco tipo ventana	Varían entre 1,48 y 1,75 (factor solar de 0,54)

Tabla I. Resultados.



Figura 1. Edificio Iri.

## Descripción de la instalación. Materiales y sistemas empleados

La solución técnica adoptada es:

- Climatización individual por vivienda con Solución Integral Saunier Duval por suelo radiante para climatizar verano/invierno por radiación (plancha lisa-aluminio Cubepack, tubo multicapa de 16mm, paso 10 cm, acabado de suelo porcelánico imitando madera) con zonificación mediante 2 Exacontrol E7RCSH (autoadaptativo con control de humedad relativa del aire). Este sistema alcanza la temperatura operativa que exige la Legislación vigente, es decir, las condiciones óptimas de confort, con la temperatura seca del aire más baja en invierno y la más alta en verano. Esto supone un ahorro de energía de aproximadamente un 8% por cada °C de temperatura seca y por este concepto el ahorro de energía total es ya de aproximadamente un 20% respecto a un sistema convencional por aire o con sistemas tradicionales.





Figura 2. Aerotermia Genia Air.



Figura 3. Magna Aqua 300/2C.

- Como generador de aerotermia compacta individual se ha empleado el modelo Genia Air 5/1-2, con un SCOP nominal 4,76 y en modulación 5,1, con inercia Genia Buffer 80 que se utiliza de desacoplador. Los áticos disponen de preinstalación de instalación para fancoil mural en salón (estas viviendas tienen mucha radiación solar, con 3 caras de soleamiento).
- El ACS por escalera (7-8 Viviendas) dispone de 2 unidades de Magna Aqua 300/2C con recirculación hasta rellanos y contador volumétrico de agua por rellano. El sistema Magna Aqua es un depósito acumulador que incorpora una bomba de calor aire/agua (aerotermia) que permite recoger el aire desde el interior de la edificación, con el máximo de temperatura, de esta manera no le afecta las inclemencias externas de temperatura y obtiene el mejor rendimiento estacional y mínimo consumo. También está preparada para que una resistencia eléctrica que incorpora, sea alimentada mediante energía solar fotovoltaiva, y así la procedencia es mayoritariamente renovable y ecológica. Cada escalera cuenta con una sala sobre la caja de escaleras con la sala técnica donde van las unidades exteriores, depósitos de ACS y recuperador.

Seguidamente indicaremos el cálculo establecido legalmente, para obtener el rendimiento estacional de la bomba de calor tipo aerotermia, que se ha empleado en la instalación. Destacamos que se ha alcanzado un valor de 4,76 de SCOP.

## Cálculo del SCOPneto según norma UNE 14825:2012

La norma UNE 14825:2012 establece la metodología de cálculo del SCOPon y SCOPneto de bombas de calor para tres condiciones climáticas determinadas (cálida, templada y fría) en función de la potencia de diseño y temperaturas de impulsión del equipo.

La potencia de diseño en calefacción (P. diseño), para las condiciones exteriores de temperatura de diseño (T<sup>º</sup>. diseño) es un dato conocido por el proyectista. La P. diseño corresponde con la potencia de calefacción necesaria para una T<sup>º</sup>. diseño de la zona objeto de estudio.

El SCOPneto es el parámetro a utilizar como SPF de la bomba de calor siguiendo las indicaciones del documento de IDAE "Prestaciones medias de las bombas de calor"

Zona climática CALIDA

Bomba de calor instalada: GENIA AIR 5/1

T<sup>º</sup>. Límite operativa = TOL = -10 °C

P. desing =Pot. de calef. a Temp. Diseño = 5,00 Kw

Punto de bivalencia -5 °C (\*)

Temp. Interior corte: 16 °C

La siguiente tabla contiene los valores utilizados para el cálculo provenientes de los ensayos según las normas mencionadas.

La temperatura de impulsión utilizada es: 35 °C en régimen: VARIABLE

j	Temperatura exterior	Temperatura Impulsión calefacción	Carga parcial	Carga térmica parcial	Capacidad declarada a frec. Variable	COPbc (a capacidad declarada)	Cc	CR	COP <sub>PL</sub> (a carga parcial)
	[°C]	[°C]	%	[kW]	[kW]				
A	-10	45,0	132%	6,6	3,60	2,00	1,00	1,00	2,00
	-7	42,0	117%	5,8	4,80	2,32	1,00	1,00	2,32
B	-3	39,0	96%	4,8	4,80	2,66	1,00	1,00	2,66
	0	37,0	81%	4,1	4,10	3,08	1,00	1,00	3,08
C	2	35,0	71%	3,6	3,60	3,46	1,00	1,00	3,46
	7	31,0	46%	2,3	2,30	4,98	1,00	1,00	4,98
D	10	28,0	30%	1,5	1,50	5,20	0,97	0,80	5,16
	12	26,0	20%	1,0	1,00	5,04	0,97	0,51	4,90
TOL	-10	45,0	132%	6,6	3,60	2,00	1,00	1,00	2,00

Cc: factor de degradación para compresores fijos y condiciones de carga parcial por debajo de la potencia mínima en compresores variables

$$C_c = 1 - \frac{\text{measured power of compressor off state}}{\text{total power input (full capacity at the part load conditions)}}$$

Consumo BC en estado de compresor parado: 0,06 kW

Tabla II. Temperaturas.

Zona climática: CALIDA

j	Tª Ext.	Nº h	D. Cal.	CBCfv	AEC	COP <sub>PL</sub>	TEC	THD	CET
	[°C]		[kW]	[kW]	[kW]		[kWh/h]	[kWh]	[kWh]
F 21	-10	0	6,59	3,60	3,00	2,0	4,8	0	0
22	-9	0	6,34	4,00	2,30	2,1	4,2	0	0
23	-8	0	6,09	4,40	1,70	2,2	3,7	0	0
A 24	-7	0	5,83	4,80	1,00	2,3	3,1	0	0
25	-6	0	5,58	4,80	0,80	2,4	2,8	0	0
26	-5	0	5,32	4,80	0,50	2,5	2,4	0	0
27	-4	0	5,07	4,80	0,30	2,6	2,2	0	0
B28	-3	0	4,82	4,80	0,00	2,7	1,8	0	0
29	-2	0	4,56	4,57	0,00	2,8	1,6	0	0
30	-1	0	4,31	4,33	0,00	2,9	1,5	0	0
31	0	0	4,06	4,10	0,00	3,1	1,3	0	0
32	1	0	3,80	3,85	0,00	3,3	1,2	0	0
33	2	3	3,55	3,60	0,00	3,5	1,0	11	3
34	3	22	3,29	3,34	0,00	3,8	0,9	72	19
35	4	63	3,04	3,08	0,00	4,1	0,7	192	47
36	5	63	2,79	2,82	0,00	4,4	0,6	176	40
37	6	175	2,53	2,56	0,00	4,7	0,5	443	95
C 38	7	162	2,28	2,30	0,00	5,0	0,5	369	74
39	8	259	2,03	2,03	0,00	5,0	0,4	526	104
40	9	360	1,77	1,77	0,00	5,1	0,3	637	125
41	10	428	1,52	1,50	0,00	5,2	0,3	651	124
42	11	430	1,26	1,25	0,00	5,0	0,2	542	107
D 43	12	503	1,01	1,00	0,00	4,9	0,2	508	103
44	13	444	0,76	0,75	0,00	4,8	0,2	337	70
45	14	384	0,50	0,50	0,00	4,6	0,1	192	41
46	15	294	0,25	0,25	0,00	4,5	0,1	74	16
		<b>3.590</b>						<b>4.729</b>	<b>968</b>

Tª Ext. Temperatura Exterior

Nº h Número de horas

D. cal. Demanda calefacción

CBC<sub>fv</sub> Capacidad Bomba de Calor frecuencia variable

AEC Apoyo eléctrico calefacción

COP<sub>PL</sub> COP a carga parcial

TEC Consumo eléctrico total/hora

THD Demanda total calefacción

CET Consumo eléctrico total

SCOP<sub>on</sub> = THD / CET = Demanda total calefacción / Consumo eléc. Total =

SCOP <sub>on</sub>	4,88
--------------------	------

Demanda anual cubierta por BC (kWh)	4.729	100,0%
-------------------------------------	-------	--------

Demanda anual cubierta por el apoyo (kWh)	0	0,0%
---	---	------

Consumo eléctrico total de la bomba de calor	968	100,0%
--	-----	--------

Consumo eléctrico total del apoyo eléctrico	0	0,0%
---	---	------

SCOP<sub>neto</sub> = Demanda anual cubierta BC/ Consumo eléc. Total BC =

SCOP <sub>neto</sub>	4,88
----------------------	------

Tabla III. Cálculo SCP.

## Determinación de renovabilidad

La Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 (2013/114/UE) establece que las bombas de calor deben considerarse renovables siempre que SPF (SCOP neto) sea superior a 2,5. En este caso, considerando el valor SCOP neto = 4,88 según EN 14825 indica que la bomba de calor aire-agua contemplada es:

RENOVABLE

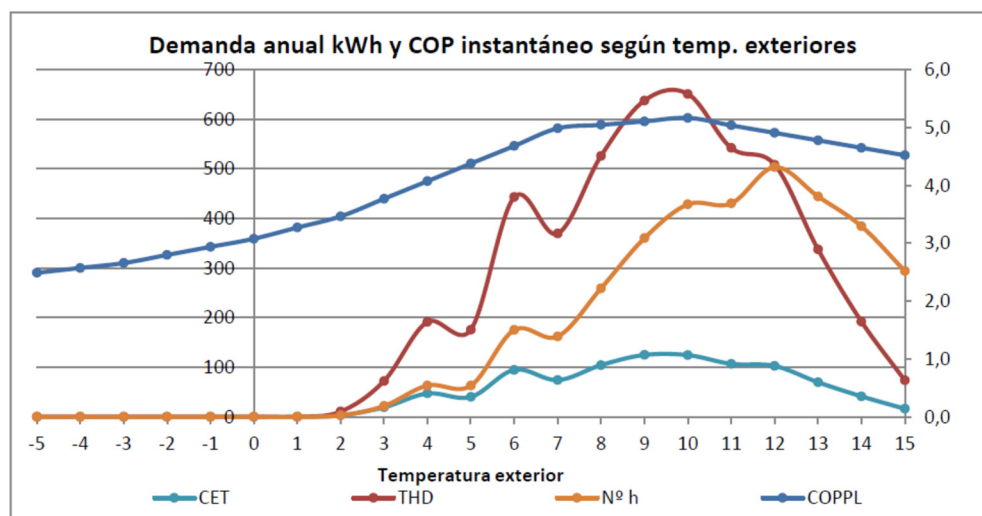


Figura 4. Demanda Anual de Energía.

## RESULTADOS

Los ratios obtenidos por m<sup>2</sup> y año de energía primaria (kWh/m<sup>2</sup>año) no renovable son: En calefacción de 13,79, En refrigeración de 13,46 y en ACS 6,81.

Los ratios de emisiones globales de CO<sub>2</sub> en kgCo<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año son: En calefacción 2,50, en refrigeración 2,28 y en ACS 1,15.

## CONCLUSIONES

Se ha conseguido la satisfacción de los usuarios, con gastos en climatización e medios de aproximadamente 2,3 €/m<sup>2</sup> año. Queremos destacar que todo ello se ha conseguido con un costo de instalación total de 7.500 €/vivienda.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a la promotora constructora que ha hecho posible este edificio: Construcciones Alfonso Sánchez. También al autor del proyecto de arquitectura: ESTUDIO METRO ARQUITECTURA Y URBANISMO S.L.P.

## MULTIPRESTACIONALIDAD DE LAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN BASE HORMIGÓN

**César Bartolomé Muñoz**, Dtor. Área Innovación, IECA (Instituto Español Cemento y Aplicaciones)  
**Arturo Alarcón Barrio**, Jefe Área Sostenibilidad, IECA (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones)  
**José Antonio Tenorio Ríos**, Científico Titular, Instituto Ciencias Construcción Eduardo Torroja – CSIC  
**Alejandro López Vidal**, Director Técnico, ANDECE (Asociación Nacional Industria Prefabricado Hormigón)

**Resumen:** La consecución de los edificios de consumo de energía casi nulo requiere la combinación de distintas estrategias de diseño: orientación, ventilación, aislamiento o inercia térmica entre otras. En este sentido, el hormigón, además de su resistencia al fuego, aislamiento acústico, fiabilidad estructural o rapidez constructiva (especialmente en el caso de soluciones prefabricadas), mejora, gracias a su masa térmica, el comportamiento energético de los edificios al amortiguar la variación y permitir un cierto desfase de la temperatura interior respecto a la exterior. Además, su carácter masivo permite la activación térmica de la estructura y el almacenamiento de energía en la misma. Por lo tanto, la utilización de estructuras termoactivas de hormigón transforma los edificios en auténticas baterías que ceden o absorben calor según las necesidades del edificio y de los usuarios, facilitando la gestión de la demanda tanto desde el punto de vista de la gestión de la redes de suministro y de los sistemas integrados en el edificio. Se presenta el proyecto INPHASE, que tiene como objetivo la integración de materiales de cambio de fase (PCMs) para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía de las estructuras de hormigón, potenciando las propiedades de mejora en la gestión de la red eléctrica y del uso de energías renovables en el edificio.

**Palabras clave:** Inercia Térmica, PCMs, Estructuras Termoactivas, Hormigón, Prefabricados

### LA INERCIA TÉRMICA. ESTRUCTURAS ACTIVADAS TÉRMICAMENTE

El diseño de los edificios de consumo de energía casi nulo, requiere reducir la demanda de energía del edificio mediante sistemas pasivos de aislamiento, si bien, es imprescindible complementar esta estrategia con sistemas capaces de acumular y devolver calor en régimen dinámico. Este tipo de sistemas requieren de un material con una elevada inercia térmica que permita dicha acumulación de calor, como es el caso del hormigón.

#### Concepto de inercia térmica

La inercia térmica se define como la capacidad que tiene una masa para conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. La inercia térmica mejora el comportamiento energético de los edificios porque permite la amortiguación en la variación de las temperaturas y el desfase en el tiempo de la temperatura interior respecto a la exterior, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes. En el caso de una situación con elevada temperatura exterior y radiación solar, la temperatura exterior se eleva produciéndose una transferencia de calor hacia el interior del edificio. La evolución de la temperatura de la cara exterior presenta un máximo (máxima amplitud) en un momento en concreto del día en función de la ubicación y orientación del edificio. Esta onda de temperatura exterior se ve amortiguada, en cuanto a amplitud, al atravesar el cerramiento, surgiendo además un desfase entre los instantes en los que se produce un pico de temperatura. El efecto de desfase y amortiguamiento permite que el edificio permanezca más tiempo en la zona de confort sin necesidad de gasto energético adicional lo que permite ahorros de manera gratuita ya que son inherentes al material.

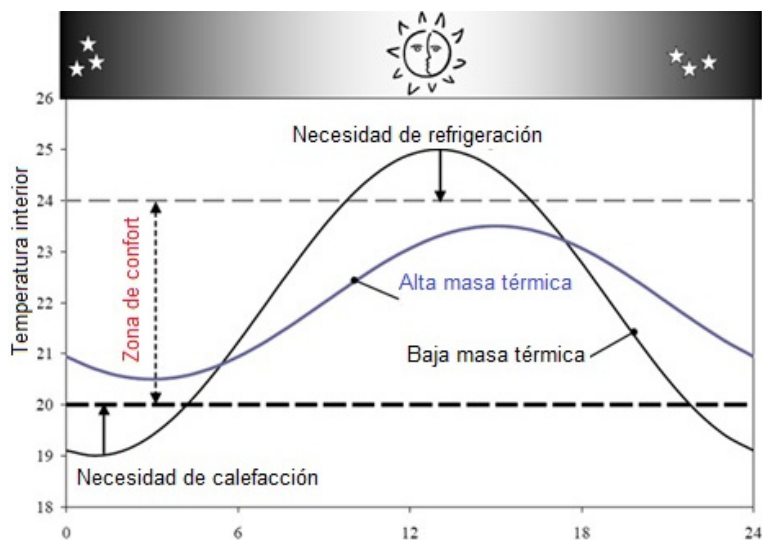


Figura 1. Atenuación de los picos de temperatura gracias a la inercia térmica en cerramientos. Materiales de alta masa térmica (ej. hormigón) frente a materiales de baja masa térmica.

Desde el punto de vista del consumo, las dos principales ventajas de este tipo de sistemas son:

- La acumulación de energía se hace de manera constante, eliminando picos y, por lo tanto, reduciendo el tamaño y la potencia de los equipos de climatización, por lo que se reduce el consumo.
- La acumulación de energía se hace durante las horas valle, cuando el coste de la energía es menor. Esto imposibilita la gestión de la demanda de energía del edificio apoyándonos en soluciones arquitectónicas adecuadas.

Además, desde el punto de vista del confort térmico de los usuarios, estos sistemas proporcionan parámetros fríos o cálidos, mucho más agradables que las corrientes de aire procedentes de otros sistemas de climatización.

## Aplicación de la inercia térmica en los edificios

Esta propiedad se utiliza en construcción de manera pasiva para conservar la temperatura del interior de los edificios más estable a lo largo del día, mediante muros y forjados de gran masa. En invierno, se calientan durante el día, y por la noche, más fría, van cediendo el calor al interior. En verano, por la noche se enfrían, para ceder este frío al ambiente a lo largo del día siguiente.

Existe también la posibilidad técnica de activar la inercia térmica del hormigón mediante un sistema embebido de tubos por los que se circula agua conectado a su vez a una fuente o sumidero de calor. En estos sistemas habituales de algunos elementos prefabricados que implican un grado de industrialización máxima (elemento estructural e instalación integrada desde fábrica), se acumula energía en la estructura, generalmente los forjados aunque también es posible en cerramientos, para calentar o enfriar las estancias según la demanda.

Entre las reglamentaciones de los distintos países europeos que mantienen un esquema similar a la transposición de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de Edificios, el Código Técnico de la Edificación español (CTE) en su Documento Básico Ahorro de energía DB-HE-1 presenta a la inercia térmica como una característica a tener en cuenta. Sin embargo, la inercia térmica implica un cálculo dinámico complejo (flujo de calor por convección y radiación) del que no hay métodos de estimación suficientemente extendidos, lo que deriva en que sea una propiedad que muy pocas veces acaba siendo valorada y cuantificada en la fase de diseño.

## LA GESTIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Además de las exigencias en lo relativo al consumo, otro de los requisitos de los ECCN es la utilización de fuentes de energía exclusivamente renovables para cubrir su consumo (que debe ser bajo). Sin embargo, las energías renovables

presentan una incertidumbre habiendo normalmente un desajuste entre cuándo se genera esta energía y cuándo se necesita, lo que limita su gestión dentro del sistema eléctrico.

El almacenamiento de energía a nivel de red mediante baterías situadas en las centrales es prácticamente irrealizable a gran escala. Para ponerlo en contexto, la batería más grande de este tipo está en China, ocupa el mismo espacio que un campo de fútbol y almacena 36 MW·h, lo suficiente para alimentar sólo 12.000 hogares durante sólo una hora. La hibridación en centrales termosolares con almacenamiento de sales fundidas consigue llegar a ciclos de medio día en los mejores casos.

La opción más interesante podría ser guardar la energía de forma distribuida en baterías eléctricas en los hogares y su entorno cercano o utilizar los sistemas inerciales de la estructura de los edificios como baterías alternativas. Se puede alcanzar con lo que se conoce como respuesta de demanda activada (ADR), donde los controles inteligentes y el almacenamiento de energía ayudan a equilibrar la red eléctrica. La capacidad de almacenamiento de energía térmica en la estructura de un edificio pesado tiene un enorme potencial, ya que no requeriría un coste adicional de inversión a diferencia de otros sistemas de almacenamiento. Mediante pre-calentamiento activo o pre-enfriamiento del edificio durante las horas pico (por ejemplo, a primera hora de la mañana), la energía se absorbe y se almacena en el edificio, y se libera en el transcurso de las horas siguientes.

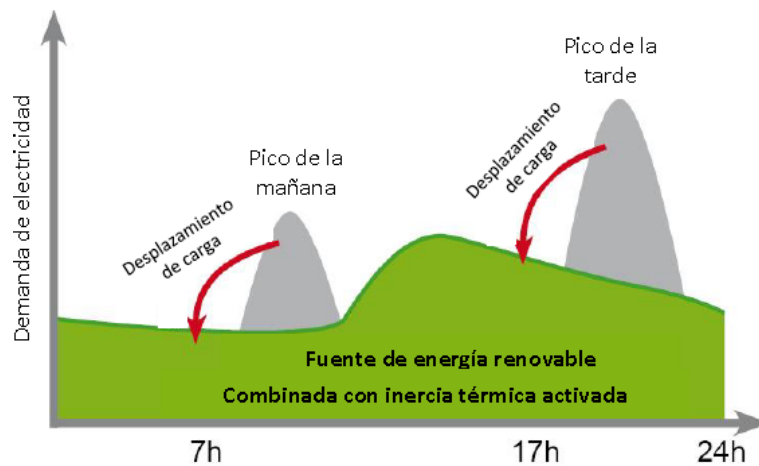


Figura 2. Uso de la capacidad de almacenaje de energía térmica de la estructura del edificio para reducir picos y desplazar cargas en el tiempo (precalentando/enfriando el edificio).

De hecho, ya existe una experiencia piloto en la que el Instituto Austríaco del Cemento analizó la posibilidad de cubrir la demanda energética de climatización de un edificio de hormigón únicamente con energía eólica, utilizando los forjados de la vivienda como baterías. Se trata de una vivienda unifamiliar de dos plantas en la que los forjados estaban activados térmicamente mediante bombas de calor y frío alimentadas exclusivamente con energía eólica. Los resultados fueron, con carácter general, muy satisfactorios, si bien existían varias ventanas de 5-6 días de duración en las cuales la demanda del edificio no se pudo cubrir únicamente con energía eólica y fue necesario recurrir a fuentes alternativas.

Esta limitación en la gestión de las energías renovables se debe a la capacidad limitada de almacenamiento de los forjados activados térmicamente. Esta limitación puede superarse mediante la activación de otros elementos estructurales, como los cerramientos o mediante la utilización de materiales innovadores que se integren en la estructura y permitan incrementar la capacidad de almacenamiento natural del hormigón.

## LOS MATERIALES DE CAMBIO DE FASE. PROYECTO INPHASE

Los materiales de cambio de fase, o PCMs por sus siglas en inglés, son una tecnología madura que permite el almacenamiento de energía en forma de calor latente aprovechando el elevado valor de la entalpía del cambio de fase. Existen diferentes tipos, siendo su capacidad de almacenamiento de energía del orden de quince veces superior a la capacidad de almacenamiento del hormigón (ver Tabla I).

Tecnología de almacenamiento	Material	Energía almacenada [MJ/m <sup>3</sup> ]	Energía almacenada [kJ/kg]	Comentarios
Calor sensible	Granito	50	17	$\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Agua	84	84	$\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Calor latente	Agua	306	330	$T_{\text{fusión}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Parafina	180	200	$T_{\text{fusión}} = 5 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Sal hidratada	300	200	$T_{\text{fusión}} = 5 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$
	Sal	600-1,500	300-700	$T_{\text{fusión}} = 300 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabla I. Comparación de la densidad energética entre almacenamiento con calor sensible y almacenamiento con calor latente (o PCMs) [Cabeza 2012].

Los beneficios que aportan este tipo de materiales en soluciones constructivas para edificación se han demostrado en diferentes proyectos de investigación. Sin embargo, dichas investigaciones han tenido una aplicación práctica en el mercado muy reducida, y prácticamente nula en el caso de soluciones constructivas en hormigón, principalmente porque no se ha logrado todavía su industrialización.

En el ámbito del hormigón existen investigaciones, en general no comerciales, sobre la integración de PCMs. La incorporación de los PCMs en el hormigón tiene efectos sobre sus prestaciones: reducción de la resistencia, disminución de la densidad, menor conductividad térmica, etc.

La disminución de la resistencia que se produce con la inclusión de PCMs es una desventaja, pero no significativa, ya que este tipo de material se utiliza por sus prestaciones térmicas y no mecánicas. Además, como se trata de un material de alto valor añadido y coste elevado, se busca que su utilización sea específica y no masiva, pudiéndose combinar en un mismo elemento hormigón con fines estructurales y hormigón con PCMs en el que se aprovechas sus capacidades térmicas.



Figura 3. Colocación de encapsulado con PCMs dentro de los huecos de una placa alveolar prefabricada.

Sin embargo, la modificación de las variables energéticas del hormigón debido a la utilización de los PCMs sí supone un reto tecnológico. La disminución de la densidad y de la conductividad térmica provoca que el comportamiento de este material sea ligeramente diferente al del hormigón tradicional. Las principales características de este material son:



- El material tiene una mayor capacidad de almacenamiento que el hormigón tradicional.
- Su baja densidad y menor conductividad térmica hace que su activación mediante ventilación sea muy complicada. Es necesaria su activación mediante tubos de agua.
- Los ciclos de carga y descarga del material se alargan en el tiempo.

En el proyecto INPHASE se han analizado estas propiedades en función del porcentaje de PCMs dosificados en peso con respecto al peso total del hormigón, desde un 5% hasta un 20%, para su utilización en cerramientos prefabricados de hormigón para fachadas. El objetivo del proyecto es desarrollar un nuevo panel prefabricado para fachadas de edificios residenciales (viviendas, hoteles, residencias universitarias, residencias de ancianos, etc.) ejecutado de forma industrializada con sistemas convencionales que presente una elevada inercia térmica mediante la integración de hormigón y materiales de cambio de fase (PCMs), que reduzca la demanda energética de dichos edificios, consiguiendo así, sin necesidad de aplicar medidas adicionales, un cerramiento orientado a utilizarse en los nuevos edificios de consumo de energía casi nulo.

Adicionalmente al estudio del material, se ha modelizado su comportamiento térmico mediante CFDs.

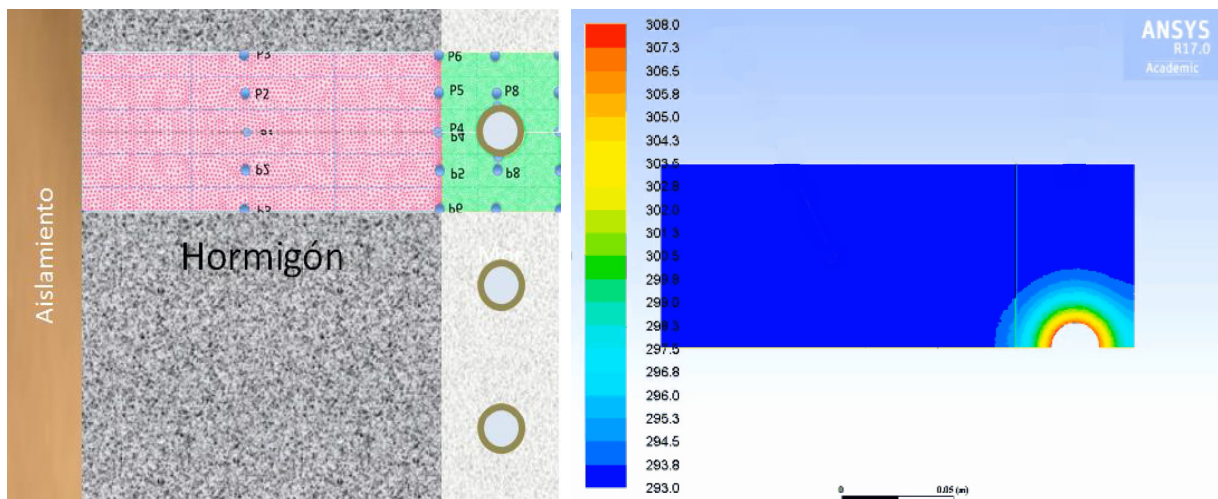


Figura 4. Modelización del comportamiento de un mortero con PCMs utilizado en cerramientos de fachada (Fuente: Servando Álvarez, Universidad de Sevilla).

La principal conclusión obtenida es que las características del material permiten alargar los ciclos de carga y descarga, de manera que es posible pasar de un ciclo diario a un ciclo que podría llegar a ser semanal, cubriendo totalmente las demandas de calefacción y de refrigeración del edificio sin necesidad de sistemas adicionales. A priori, esta tecnología permitiría que tanto la carga como la descarga del material se hicieran exclusivamente con energía renovable, superando las limitaciones que presenta un hormigón tradicional y eliminando las posibles incertidumbres en la generación que pudieran existir.

## POTENCIAL DE APLICACIÓN

Las investigaciones realizadas durante el proyecto INPHASE han permitido desarrollar un material con un gran potencial de aplicación tanto en obra nueva como en rehabilitación. Al tratarse de un producto específico que necesita poco volumen, no incrementa significativamente las cargas muertas de la estructura, por lo que no penaliza el coste global de la misma. Por este motivo, su utilización es idónea en el caso de obras de rehabilitación energética, ya que se puede incorporar a los forjados tradicionales de vigueta y bovedilla, incrementando considerablemente la inercia térmica de estructuras que carecen de esta propiedad y permitiendo la utilización de tecnologías basadas en la activación térmica de elementos mediante energías renovables. Además, su versatilidad permite su uso tanto en cerramientos como en forjados térmicamente activados e incluso la combinación con tecnologías complementarias como pueden ser los suelos radiantes.

Pero el verdadero potencial de este material radica en su elevada capacidad de almacenamiento y en la extensión de los ciclos de carga y descarga de un intervalo diario a un intervalo de 3 ó 4 días e incluso semanal, en función de la dosificación. Esta característica, en combinación con sistemas inteligentes de gestión basados en el desarrollo de las TICs y de la gestión de datos (“Big Data”), que tengan en cuenta la generación de energías renovables en el propio edificio, el coste de la energía de la red, la predicción meteorológica, el comportamiento y preferencias del usuario,... permitirá realizar una gestión de la demanda integral superando las limitaciones del experimento austriaco y cubrir la demanda de climatización de cualquier tipo de edificio con energías estrictamente renovables, ayudando a la consecución de los objetivos europeos en materia de eficiencia energética en edificación.

## CONCLUSIONES

La inercia térmica del hormigón tradicional se ha demostrado como una herramienta de diseño muy potente para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Además, los hormigones, tanto in situ como en elementos prefabricados, y morteros con PCMs, multiplican la capacidad de almacenamiento del hormigón tradicional y permiten una gestión completa de las energías renovables siempre y cuando se combinen con sistemas inteligentes de gestión que tengan en cuenta las principales variables que afectan al comportamiento energético del edificio.

Por otro lado, la utilización de sistemas inerciales no solo aporta beneficios a los usuarios de los edificios donde se implementan, sino que beneficia al sistema en su conjunto. La utilización de edificios como baterías de almacenamiento, aplanan la curva, eliminando los picos de demanda y, por lo tanto, también de producción. Este tipo de sistemas evitan el sobredimensionamiento del sistema de generación para momentos puntuales y, además, permite aprovechar la sobreproducción existente en las horas valle.

Las empresas de generación eléctrica deberían demandar este tipo de tecnología, puesto que les permitiría una mejor explotación de la capacidad instalada, con un mayor uso anual de las instalaciones que ahora mismo únicamente se utilizan para cubrir ciertos picos de demanda. De esta manera, serían capaces de satisfacer las necesidades futuras de energía sin acometer nuevas y costosísimas inversiones. De hecho, en países como Suecia, las compañías de generación eléctrica han iniciado un proceso de análisis de los beneficios que los edificios de elevada inercia térmica tendrían para ellas. Por este motivo, parece razonable que las administraciones públicas, en cooperación con las compañías de generación eléctrica, incentiven la utilización de sistemas inerciales en edificios nuevos y existentes mediante bonificaciones tarifarias u otros instrumentos financieros que ayuden a generalizar este tipo de tecnologías.

## REFERENCIAS

- FENERCOM, 2014, “Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios”.
- López, A. & Tenorio, J.A., 2016, “Una característica no aprovechada en los elementos prefabricados de hormigón: la masa térmica”, Revista Cemento Hormigón
- Plataforma Tecnológica Española del Hormigón, 2008, “Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica”, Revista Cemento Hormigón.
- Tenorio, J.A., 2010, “Los requisitos del Código Técnico de la Edificación. Eficiencia energética e incremento de la sostenibilidad. Aplicación a los edificios de hormigón”, Revista Cemento Hormigón.

# CÁLCULO DEL POTENCIAL TÉRMICO DE UN MURO PANTALLA TERMOACTIVADO - HERRAMIENTA “GEOTOOL”

Íñigo Urrea, Investigador del Área de Energía Térmica, Tecnalía Research & Innovation  
Mercedes Gómez de Arteche, Investigador del Área de Energía Térmica, Tecnalía Research & Innovation

**Resumen:** En esta comunicación se describen las actuaciones llevadas a cabo dentro del proyecto europeo GEOTECH, en el que se pretende conseguir una reducción del consumo de energía primaria en calefacción, refrigeración y producción de ACS en edificación. Concretamente la herramienta de simulación GEOTOOL, desarrollada dentro del proyecto europeo GEOTECH, pretende estimar la capacidad de intercambio térmico de la cimentación ejecutada mediante muros pantalla termoactivados. Para ello, se han realizado una serie de ensayos de respuesta térmica de este tipo de soluciones constructivas en obra y se ha validado el software GEOTOOL comparando los resultados de las simulaciones con los resultados de ensayo. A su vez, todos los materiales que intervienen en el intercambio térmico entre el fluido calorportador y el terreno (tuberías de plástico, hormigón y el terreno adyacente) han sido analizados mediante diferentes técnicas y se han caracterizado todas sus propiedades térmicas (densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica).

**Palabras clave:** Eficiencia Energética, Energías Renovables, Cimentación Termoactivada, Geotermia, Simulación

## INTRODUCCIÓN

El consumo energético de los edificios preocupa cada vez más en Europa y las medidas de eficiencia energética son claves para alcanzar los objetivos medioambientales a medio plazo. Las instalaciones térmicas son un factor muy a tener en cuenta para la reducción de energía primaria en edificación debido a que se trata de uno de los sectores con mayor potencial para la reducción de dicho consumo. El proyecto Europeo GEOTECH trata de reducir el consumo de energía primaria de calefacción, refrigeración y ACS de los edificios, utilizando la energía geotérmica como fuente de calor y frío combinándola con la bomba de calor para alcanzar las condiciones de confort en el edificio.

Tecnalía Research & Innovation, dentro del marco del proyecto GEOTECH ha desarrollado y validado un algoritmo de cálculo que facilita el cálculo del potencial térmico de un tipo elemento de cimentación activado térmicamente, concretamente de la pantalla termoactivada. El modelo de cálculo simula el comportamiento térmico del sistema tubería-hormigón-terreno-fluido calor portador mientras se somete a una perturbación térmica inducida mediante un bombeo a diferente temperatura y caudal a lo largo del tiempo. A dicho algoritmo se le ha denominado “GEOTOOL”.

## HERRAMIENTA “GEOTOOL”

El objetivo final de la herramienta “GEOTOOL” consiste en ayudar a dimensionar una bomba de calor para climatizar un edificio en el que la cimentación mediante pantallas termoactivadas pase a ser uno de sus focos térmicos. Lo que se pretende con la misma es valorar el grado de saturación que sufrirá el terreno al intercambiar calor con el fluido circulante por su interior y valorar la potencia térmica intercambiada, así como estimar el rendimiento que presentará la bomba de calor trabajando en esas condiciones. Para ello, se realiza una discretización del conjunto mediante nodos y se realizan balances de energía en cada uno de ellos para calcular la distribución de temperaturas en todo el sistema mediante la técnica de diferencias finitas.

## VALIDACIÓN HERRAMIENTA “GEOTOOL”

Para la validación de la herramienta de cálculo, Tecnalía Research and Innovation ha desarrollado un equipo de realización de ensayos de Respuesta Térmica, y se han reproducido los ensayos realizados y comparado las temperaturas de salida del muro pantalla monitorizados con los resultados de la simulación.

El muro pantalla termoactivado, se activa uniendo la tubería de polietileno a la armadura metálica y se introduce en el interior de la excavación utilizando grúas. Y posteriormente, una vez finalizado el proceso de fraguado del hormigón, se ensaya utilizando el equipo de Respuesta Térmica.



Figura 1. Equipo de Respuesta Térmica diseñado por Tecnalia Research & Innovation.



Figura 2. Instalación del muro pantalla termoactivado.

Finalmente, la herramienta se valida comparando los resultados de la simulación con las medidas realizadas mediante el equipo de Respuesta Térmica. Para ello, se introduce la temperatura y caudal de impulsión medida en el Test dentro del software "GEOTOOL" y se comparan las temperaturas de retorno calculadas con el software y las medidas registradas en el ensayo.

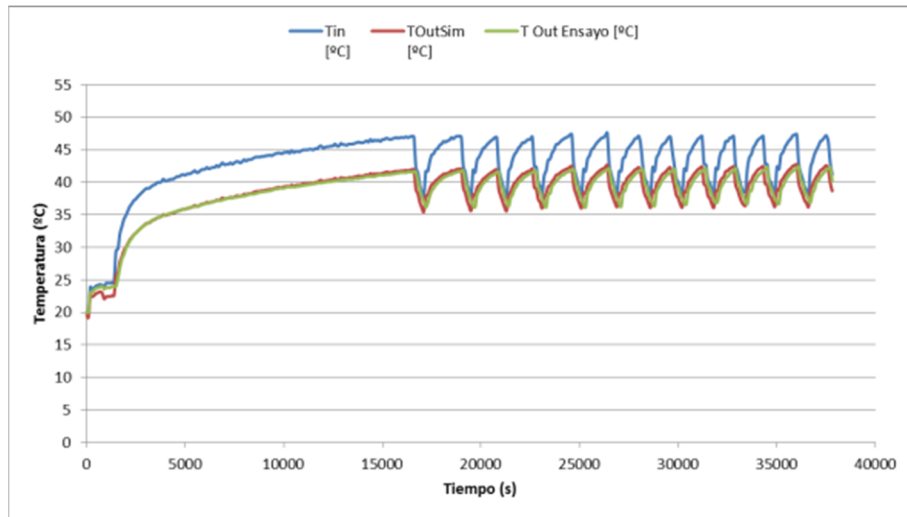


Gráfico 1. Validación de resultados de simulación.

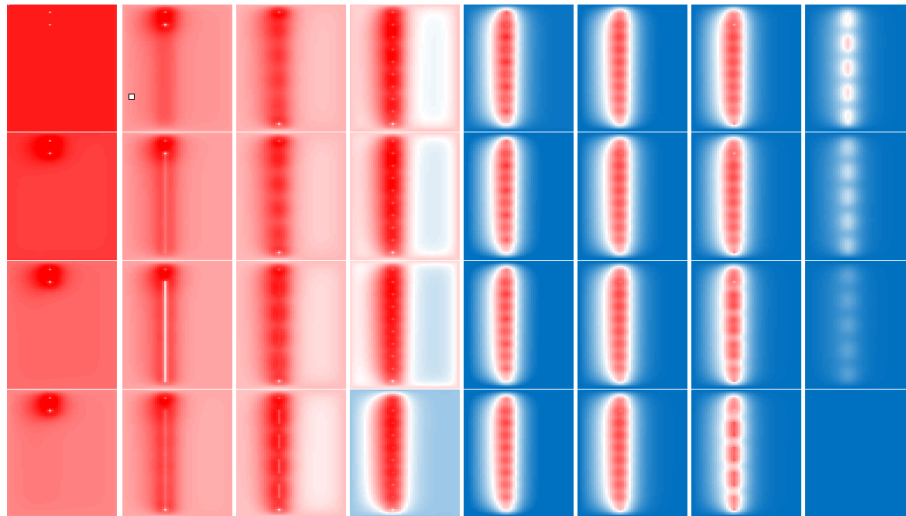


Gráfico 2. Distribución de temperatura en el subsuelo.

La herramienta "GEOTOOL" permite el cálculo de la potencia térmica intercambiada y la visualización de la distribución de la temperatura en el interior del muro pantalla termoactivado. Conociendo el grado de saturación del terreno puede calcularse la temperatura de retorno del fluido tras intercambiar calor con el terreno, lo que permite calcular el COP de la bomba de calor que utiliza el muro pantalla termoactivado como foco térmico. De esta forma, puede optimizarse el COP de la bomba de calor durante su vida útil teniendo en cuenta la época del año en la que se utiliza, el horario de operación y las características térmicas de los materiales involucrados en el intercambio térmico.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de la herramienta de simulación “GEOTOOL” se ajustan razonablemente bien a las medidas realizadas en los muros pantalla termoactivados ensayados.

Sin embargo, en las diferentes obras en las que se ha trabajado se ha observado el gran riesgo que presenta este tipo de activación térmica en cuanto a su integridad se refiere. Las tuberías de polietileno empleadas para la activación son muy frágiles (comparando con el resto de materiales de la obra) y el riesgo de rotura, no tanto en la instalación sino en lo que dura toda la obra) es muy elevado. Por ello, a medida que se han ido ejecutando diferentes muros pantalla termoactivados, se han tomado medidas de seguridad cada vez estrictas, pero no se ha eliminado completamente el riesgo de rotura de los circuitos hidráulicos embebidos.

La configuración de las tuberías también ha sufrido una modificación a lo largo del proyecto. El riesgo de acumulación de aire en los cambios de dirección vertical de los circuitos hidráulicos (tuberías ascendentes y descendentes) ha derivado en un cambio de la geometría de la instalación de tuberías en forma de “peine” por lo que se ha tenido que modificar el software GEOTOOL y ahora se está realizando una segunda validación con la nueva geometría empleada en los muros pantalla ejecutados recientemente.

## AGRADECIMIENTOS

Para la validación del software, ha sido necesaria la ejecución de varios muros pantalla termoactivados en obras de edificios de diferente naturaleza en las que la cimentación termoactiva no estaba planificada desde un inicio. Para lo que ha sido imprescindible la colaboración de las empresas CIMENTACIONES ABANDO, S.A. y COMSA. A las que se quiere mencionar expresamente en este apartado de agradecimientos.

## REFERENCIAS

- Proyecto GEOED, Integración de la Geotermia en la edificación. Memoria proyecto. Año 2012
- Proyecto GEOCIM, Cimentación termoactiva. Memoria del proyecto. Año 2011.
- Eklöf, C., Gehlin, S., 1996. TED. A Mobile Equipment for Thermal Responses Test.

# COMPROBANDO CÓMO FUNCIONA UNA FACHADA: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA FACHADA EN UNA VIVIENDA DE ENERGÍA CASI NULA

**Anna Manyes Castellà**, Responsable de Eficiencia Energética, ROCKWOOL Peninsular

**Resumen:** Con este estudio se pretende demostrar las prestaciones que una fachada compuesta por un SATE de lana de roca, muro cerámico y trasdosado con lana de roca, puede ofrecer a una vivienda de bajo consumo. Por ello, se ha monitorizado una vivienda unifamiliar en Zaragoza durante más de un año. Los datos aportados hasta ahora confirman: unas temperaturas superficiales exteriores de la fachada mucho más extremas que las temperaturas del aire: entre -4 y 49°C; unas temperaturas superficiales interiores dentro del rango de confort durante la mayor parte del tiempo, tanto en invierno como verano; observación detallada de cómo evolucionan los saltos térmicos; una contribución óptima de la fachada al confort acústico, medida en ensayo.

**Palabras clave:** Fachada, SATE, Acústica, Ensayos, Monitorización, Temperatura

## INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS

En este estudio, aún en marcha, se ha querido analizar sobre la realidad construida cómo se comporta una fachada y qué aporta para satisfacer las distintas prestaciones -confort térmico, acústico, calidad del aire, seguridad- en un contexto de Edificio de Energía Casi Nula EECN.

## LA VIVIENDA DE ESTUDIO

El edificio estudiado es una vivienda unifamiliar situada en Zaragoza, construida en 2015, obra de Ferrán Calzada y Alberto Mendo (Ingennus Urban Consulting), y Daniel Olano. Consta de dos plantas más un semisótano iluminado con patio inglés, y está habitada desde agosto de 2016 por cuatro personas -una pareja con ocupaciones fuera de casa con dos hijos en edad escolar.

Según datos de facturación, la vivienda tiene un consumo total de Energía Final de 53,34 kWh/m<sup>2</sup>a. Una vivienda unifamiliar media en zona continental tiene un consumo de 130,53 kWh/m<sup>2</sup>a de los cuales un 67% son para usos evaluados en el CTE/CEE (calefacción, refrigeración, y ACS) (IDAE, 2011). Extrapolando a estos usos, y de forma aproximada, el Consumo de Energía Final evaluado en una certificación energética de la vivienda en estudio sería de 35,58 kWh/m<sup>2</sup>a, un 59% más bajo que la media. Por tanto, sin entrar a valorar los aspectos generales del edificio estudiado, sí se puede ubicarlo como edificio de bajo consumo energético.



Figura 1. Fachada sur y este. Fuente: Laura Bersabé.



Figura 2. Fachada este y norte. Fuente: Laura Bersabé.

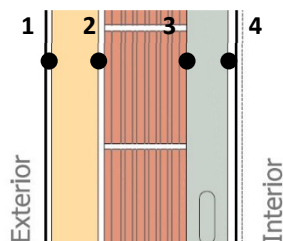
La fachada objeto del estudio está compuesta por las siguientes capas, del exterior hacia el interior:

- Sistema SATE REDArt de ROCKWOOL, con acabado exterior al silicato y aislamiento con panel RockSate Duo de 120 mm de espesor [1]

- Muro cerámico aligerado de 140 mm de espesor
- Trasdoso de placa de yeso laminado con montantes metálicos (arriostrados al muro mediante ménsulas), de 12,5 mm de espesor
- Aislamiento Rockcalm E-211 de ROCKWOOL de 60 mm de espesor, ubicado entre montantes del trasdosado [2]
- La transmitancia térmica U, incluyendo los puentes térmicos puntuales es de  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## METODOLOGÍA

Se ha iniciado una monitorización de datos higrotérmicos, aportando valores horarios desde agosto de 2016: humedad exterior e interior; temperatura del aire exterior e interior; temperaturas superficiales en dos ubicaciones: fachada norte, y fachada oeste.



1. En el mortero de acabado del sistema REDArt: temperatura superficial exterior
2. Entre el aislamiento del sistema REDArt y el muro cerámico
3. Entre el muro cerámico y el aislamiento interior
4. Entre el aislamiento y la placa de yeso laminado: temperatura superficial interior

Figura 3. Detalle de fachada y colocación de sensores de temperatura superficial, en cada una de las dos ubicaciones.



Figura 4. Detalle de instalación de REDArt.



Figura 5. Colocación de sensores (termopares) en fachada.

Durante todo este tiempo, la vivienda ha estado funcionando con normalidad, incluyendo el sistema de climatización, operado bajo el criterio de sus ocupantes.

Por otro lado, la consultoría externa Nivel-4 ha efectuado un estudio acústico, comparando valores de aislamiento al ruido aéreo de la fachada calculados con los medidos en obra final. Las mediciones acústicas y los cálculos se han efectuado conforme al estándar UNE EN ISO 16.283-1:2015 y el DB HR del CTE.

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

### Evolución de las temperaturas en la fachada durante la semana más fría

- Entre el 17 y el 22 de enero, la temperatura exterior del aire oscila entre los  $-3$  y  $10,1 \text{ }^\circ\text{C}$  mientras que la interior está siempre claramente en confort ( $19,5$ - $22,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- De hecho, la Temperatura Superficial Interior (N3), incluso la N2, son casi siempre más altas que la del aire interior, con mínimas de  $21,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esto significa que las paredes interiores de la vivienda tienen una temperatura radiante alta, contribuyendo a una mayor sensación de confort. Es posible que esto sea en parte debido al sistema de calefacción.
- La diferencia de temperatura entre los sensores colocados al exterior e interior del SATE N0 y N1, es muy clara y la más diferenciada de todas. En el SATE se salvan unos  $15,74 \text{ }^\circ\text{C}$  de promedio entre el exterior y el interior.



- Cuanto al resto de capas: en el muro cerámico se produce un salto térmico de 1,95 °C, mientras que en el aislamiento del trasdosado el salto es de 0,67 °C, llegando a una temperatura superficial interior media de 21,94 °C.
- La Temperatura Superficial Exterior (N0) es casi idéntica a la temperatura del aire. Cabe recordar que esta fachada no recibe radiación solar directa (ningún aumento de temperatura se debe a causas externas), por lo que no se deducen pérdidas de calor remarcables.

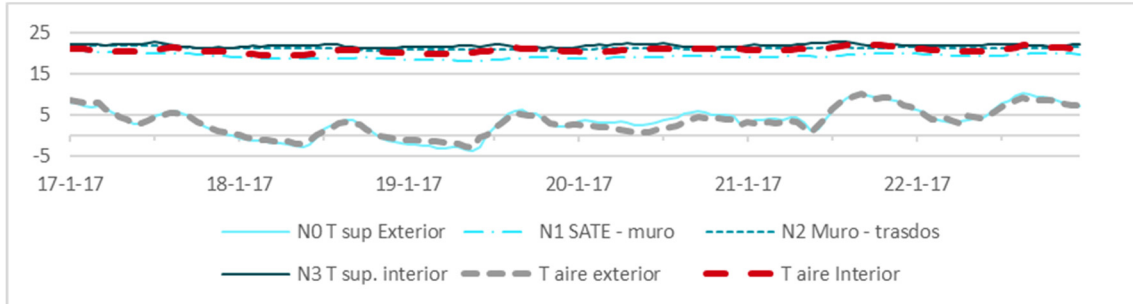


Figura 6. Temperaturas en la fachada Norte, 17 al 22 de enero.

Respecto al papel de la radiación solar en invierno, se observa en la fachada Oeste:

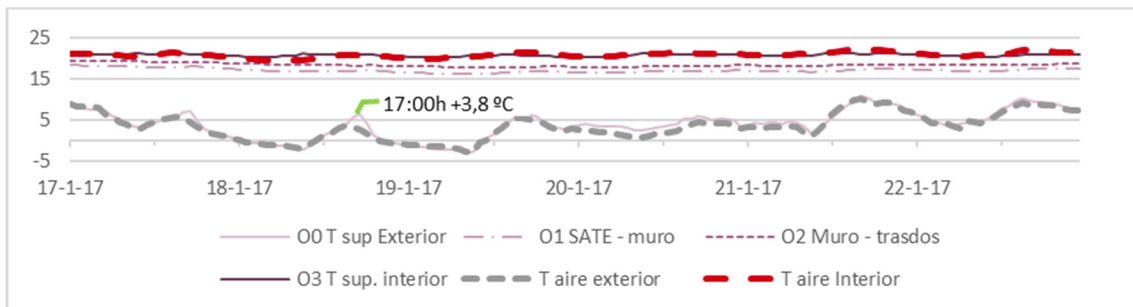


Figura 7. Temperaturas en la fachada Oeste, 17 al 22 de enero.

La temperatura superficial exterior (O0) es casi idéntica a la del aire, y a la de la fachada Norte vista anteriormente. Sólo se aprecian unos picos de temperatura durante las tardes, el más destacado de los cuales sube la temperatura de la fachada unos 3,8 °C respecto el aire. Por lo tanto, se confirma que, en una orientación oeste, las ganancias solares por los cerramientos opacos son poco significativas -o no suficientes como para utilizarlas como recurso de condicionamiento pasivo.

## Evolución de temperaturas en la semana más cálida

Para el confort en verano cobran gran importancia distintos factores, los cuales no se han controlado de ningún modo durante la recogida de datos: que la protección solar y/o la ventilación sean suficientes y estén activadas en los momentos adecuados; o conocer los perfiles de ocupación en cada momento y si por tanto existe necesidad de confort térmico y/o se activa la refrigeración. Por otro lado, las condiciones exteriores oscilan tanto por encima como por debajo de las condiciones de confort, a diferencia del invierno, y por lo tanto cambiando la dirección del flujo de calor a través de la fachada constantemente. Es por esto que es difícil de aislar qué papel general tiene la fachada opaca en la evolución de temperaturas. Tampoco se puede deducir, a la vista de los datos, que no se pueda lograr el confort mediante estrategias pasivas, ya que es altamente improbable que durante el día hubiera ocupación en la casa, y por lo tanto una activación correcta de sombreado o ventilación.

Es mucho más revelador observar la evolución de las temperaturas en las distintas capas de fachada:

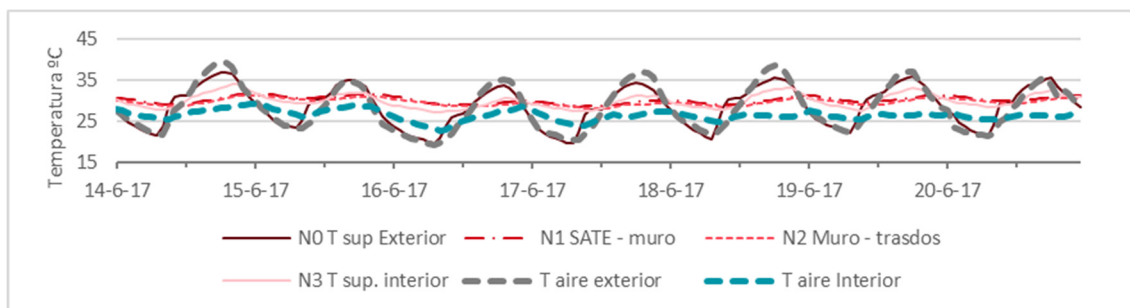


Figura 8. Temperaturas en Fachada Norte, 14 al 20 de junio.

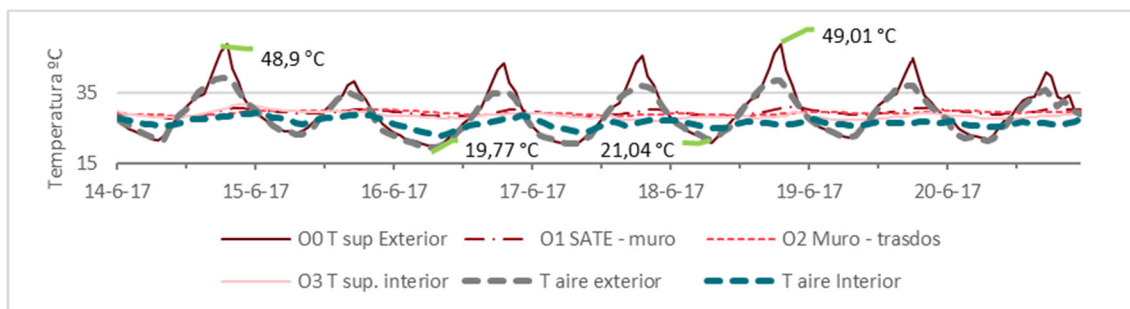


Figura 9. Temperaturas en Fachada Oeste, 14 al 20 de junio.

- Se ha medido, en la fachada oeste, hasta 49,01 °C de temperatura superficial exterior, cuando la temperatura del aire es de 35,58 °C, debido a la radiación solar
- En este momento, en el SATE se salvan 18,5 °C de salto térmico, una cifra comparable a las observadas en invierno
- Ese mismo día la temperatura de la fachada era, por la noche, de 21,04 °C: el salto térmico de la superficie de la fachada entre día y noche alcanza los 27,97 °C.
- Las temperaturas internas de la fachada, en cualquier orientación, tienden a estabilizarse, ya sea en capas con aislamiento o con masa térmica
- En cambio, las temperaturas superficiales interiores N3 y O3 presentan más oscilaciones a lo largo del día, lo que parece ser debido a causas externas (radiación solar, ventilación, uso, etc.), y están casi siempre por encima de la temperatura del aire

## Cálculo de condensaciones

Se ha realizado un cálculo de posibilidad de condensaciones intersticiales, utilizando los datos de temperaturas y humedad relativa tanto oficiales del CTE, como los reales recogidos, según el estándar ISO 13788. Como resultado, en ninguno de los dos escenarios se ha detectado ninguna condensación en ningún mes del año, lo que garantiza la correcta transpiración de la fachada (todos los componentes son transpirables), rendimiento térmico y durabilidad.

## Aislamiento al ruido aéreo

Se comprueba que los valores medidos en ensayo correspondan con los previstos en cálculos de proyecto.

Paramento ensayado	Valor medido D2m, nT, Atr	Valor calculado D2m, nT, Atr	Diferencia
Fachada 0% huecos +ventanas en fachada perpendicular	45 dBA	45 dBA	0
Fachada 33% huecos	36 dBA	36 dBA	0
Fachada 22% huecos +grandes ventanales en fachada perpendicular	34 dBA	35 dBA	1 dBA

Tabla I. Resultados de los ensayos efectuados vs. cálculo de proyecto.

La mejora aportada por los sistemas de fachada ROCKWOOL en los recintos estudiados, respecto a la situación sin aislar, corresponde a la siguiente tabla:

Tipo de transmisión de ruido	Elemento constructivo	Sistema constructivo de fachada						
		Sin aislar	SATE +trasdosado	Sólo SATE		Sólo trasdosado		
Aislamiento acústico a ruido aéreo frente al exterior	Fachada ciega	39 dBA	+18 dBA		+4 dBA		+15 dBA	
	Fachada huecos <30%	35 dBA	+5 dBA		+2 dBA		+4 dBA	
	Fachada huecos >30%	32 dBA	+4 dBA		+2 dBA		+4 dBA	

Tabla II. Cálculos de la mejora aportada por los sistemas ROCKWOOL en la fachada de estudio.

Es interesante que, a nivel térmico, quien más aporta es el SATE, mientras que a nivel acústico es el trasdosado, pero que ambos contribuyen en todas las facetas del confort.

## Sensación de confort

Y por último y no menos importante, las impresiones de los usuarios. Los habitantes de la vivienda se muestran completamente satisfechos con el confort de la fachada, aunque sea difícil de percibir cuando funciona correctamente. “A veces estamos cerca del gran ventanal del comedor, y es allí donde se nota más ruido exterior, o una temperatura menos confortable. Por contraste, es entonces cuando nos damos cuenta de lo confortable que es permanecer en cualquier otro lugar, incluido cerca de la fachada.”

## CONCLUSIONES

### Confort térmico

En el estudio de temperaturas no se pretende concluir que la fachada sea responsable de los saltos térmicos observados, ni en invierno ni en verano, ya que en la evolución de temperaturas intervienen otros factores: climatización, ocupación, etc.

Sin embargo, sí se puede afirmar:

- En invierno, la temperatura superficial interior se mantiene siempre en confort, lo que aporta una buena temperatura radiante al usuario, mientras que la temperatura superficial exterior es prácticamente igual que la del aire – “pared fría” al tacto, o en una termografía
- Una fachada aislada muestra comportamientos similares a una fachada con masa térmica, en cuanto a estabilización de temperaturas a lo largo del tiempo
- La fachada desarrolla correctamente su papel como estrategia pasiva, tanto en verano como en invierno
- En verano, la radiación solar representa un importante aporte de calor que el aislamiento debe frenar

### Radiación solar en fachada y ganancias térmicas, según color de acabado

En la vivienda estudiada, se han observado grandes oscilaciones en la temperatura superficial exterior en la orientación oeste, debido a la radiación solar, especialmente en verano.

Para extrapolar resultados a otras situaciones, hay que tener en cuenta que aquí la propiedad había optado por el color blanco en toda la envolvente, lo que minimiza la absorción de calor por radiación ya que tiene un índice de reflexión solar muy alto. Pero con un acabado de color más oscuro, la temperatura superficial de la fachada puede alcanzar los 80 °C. (Cortexa, 2017).

Blanco 010-P-01 (color utilizado)	88%
Verde claro 500-P-02	71%
Amarillo 340-E-03	57%
Salmón 120-U-03	37%
Marrón 110-E-06	18%

Tabla III. Ejemplos de índices de reflexión solar según algunos acabados de REDArt [3].

Esto lleva a dos conclusiones:

- El salto térmico que soporta una fachada en verano puede ser mucho mayor que lo que soporta en invierno: hasta 55-60°C entre interior y exterior, por lo que no se debe subestimar el papel del aislamiento en climas cálidos
- Los materiales que conforman la fachada deben estar preparados para soportar tales temperaturas, y cambios bruscos (hasta 60°C de diferencia entre día y noche).

## Confort acústico

Mediante los ensayos, se confirma que los sistemas ROCKWOOL estudiados aportan las prestaciones acústicas esperadas y publicadas en las fichas técnicas, y que la obra se ejecutó atendiendo a criterios de ejecución acústicos, no encontrándose defectos en el aislamiento.

## La importancia de la visión conjunta: interdisciplinariedad

Aunque cuando se proyecta un EECN el foco se ponga en el consumo energético, no hay que olvidar que el objetivo se puede y debe lograr sin menoscabar otras prestaciones como el confort acústico, la salud, la durabilidad y la seguridad. En la presente fachada se ha demostrado que esto es posible, y que la presente solución supera las exigencias normativas en distintas facetas, sin tener que utilizar una solución específica para cada una de ellas.

## REFERENCIAS

- Cortexa. (27 de 9 de 2017). I colori del Sistema a Cappotto. Obtenido de [www.cortexa.it/webapp/upload/media-460.pdf](http://www.cortexa.it/webapp/upload/media-460.pdf)
- IDAE. (2011). Informe Final Proyecto SECH-SPAHOUSEC.

## Notas al final

- [1] Datos técnicos del sistema: <http://www.rockwool.es/productos-soluciones/fachadas-medianerías/aislamiento-exterior/fachada-sate-sistema-redart>
- [2] Datos técnicos del producto: <http://www.rockwool.es/productos-soluciones/rockcalm-e--211/>
- [3] Más información en [www.rockwool.es/productos-soluciones/fachadas-medianerías/aislamiento-exterior/fachada-sate-sistema-redart](http://www.rockwool.es/productos-soluciones/fachadas-medianerías/aislamiento-exterior/fachada-sate-sistema-redart)

# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON RECUPERACIÓN DE CALOR – REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN BLOQUE DE VIVIENDAS

**Moisés Odriozola-Maritorena**, Grupo de Investigación ENEDI, UPV/EHU  
**Carlos García-Gáfaró**, Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco  
**Iñaki Gómez-Arriaran**, Grupo de Investigación ENEDI, UPV/EHU  
**Santiago Pascual**, Dirección Comercial, Siber Zone  
**Ivan Agudies**, Jefe de Área Noroeste, Siber Zone

**Resumen:** El proyecto de rehabilitación del bloque de viviendas en Zaramaga (Vitoria-Gasteiz) ha tenido un alcance global en el que las actuaciones de renovación buscaban actualizar a la normativa vigente las condiciones de accesibilidad y de ventilación, así como la mejora de su calificación energética. Para conseguir una mejor eficiencia energética al tiempo que se aseguraba la prevención de patologías por falta de ventilación, se instaló un sistema de ventilación individual con recuperación en cada vivienda. Este trabajo tiene como objetivo valorar el comportamiento energético del sistema de ventilación instalado y la calidad del aire interior resultante. Para ello, se han realizado mediciones de temperaturas, velocidades de aire y potencia consumida en el recuperador de calor, y de la concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura en los locales habitables de una de las viviendas. Los resultados muestran un gran comportamiento del sistema de ventilación, siendo el valor de la eficiencia del recuperador de calor de 86,6% durante el periodo de medición. En cuanto a la calidad del aire interior, el valor promedio de la concentración de CO<sub>2</sub> es de 721 ppm, y el acumulado de la concentración por encima de los 1.600 ppm ha sido de 17 ppm·h, estos valores se refieren al local más desfavorable. Los valores se encuentran muy por debajo de los valores límite fijados por el DB HS 3 del Código Técnico de la Edificación.

**Palabras Clave:** Rehabilitación, Eficiencia Energética, Recuperador de Calor, Calidad de Aire, Ventilación Inteligente

## INTRODUCCIÓN

El consumo energético en edificios residenciales supone gran parte del consumo de energía total en los países de la OCDE (IEA, 2010). Las directivas europeas fomentan la eficiencia en los edificios situados en los Estados miembro, estableciendo los requisitos mínimos de eficiencia energética, planes para aumentar el número de edificios de consumo casi nulo y el marco común de una metodología para el cálculo de la eficiencia energética en los edificios (Parlamento europeo y Consejo de Europa, 2006 y 2010). Mediante su aplicación se estima un ahorro para el año 2020 en el conjunto de los edificios del sector residencial de la UE del 27% (Commission of the European Communities, 2010).

En el caso de España, el consumo del sector edificatorio representa el 29% del total (Secretaría de Estado de Energía, 2010), siendo el consumo energético del hogar medio de 10.521 kWh en el año 2010 (IDAE, 2010). Siendo esto así, la calefacción es el servicio que mayor consumo presenta, en torno al 47%, aunque este reparto varía significativamente en función del clima, pudiendo alcanzar el 55% en la Zona Continental.

La mala calidad del aire interior es el origen de un gran número de problemas de salud de los ocupantes de los edificios (Smith, B.J. et al., 2000; World Health Organization, 2010). Ventilar es necesario para mantener la concentración de los contaminantes generados en el interior de las viviendas dentro de unos límites aceptables.

Como consecuencia de la necesidad de ventilar, se produce un aumento de la demanda energética. Las pérdidas de calor por renovación de aire han sido cuantificadas por diferentes autores, concluyendo que las mismas se encuentran en torno al 50% de las pérdidas totales de calor en viviendas (Awbi H.B., Chapter 7, 1998) Siendo esto así, este valor depende de las condiciones climáticas, las características de la vivienda y su ocupación. Cabe señalar que a medida que se reducen las pérdidas de calor a través de los cerramientos, el porcentaje de pérdidas que corresponde a la renovación de aire aumenta.

## DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La rehabilitación energética del bloque de viviendas situado en el barrio de Zaramaga de Vitoria-Gasteiz, busca actualizar las viviendas en los términos definidos por las nuevas políticas edificatorias. Para ello, además de revestir

térmicamente la envolvente del edificio, se incorporan equipos mecánicos de ventilación que tienen como objetivo mejorar la calidad del aire interior, ver Figura 1.

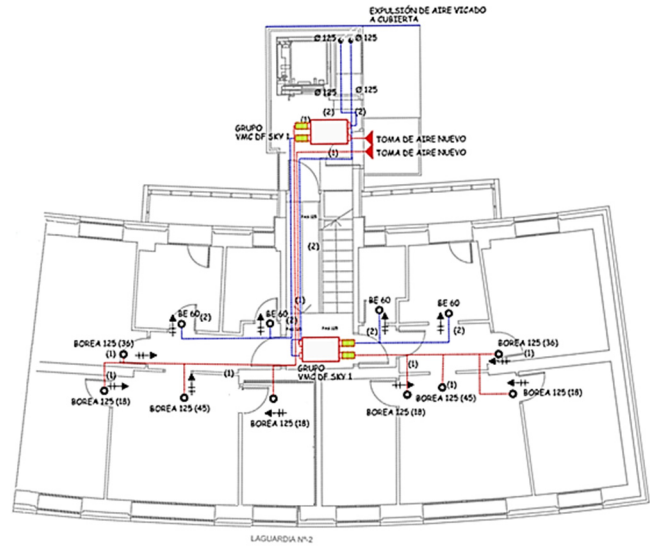


Figura 1. Foto del edificio en el que se sitúa la vivienda analizada (Izq.), y plano de la vivienda analizada (Dcha.).

El sistema de ventilación instalado es un sistema de ventilación mecánico con recuperación de calor. El aire del interior de la vivienda se expulsa a través de locales húmedos, no sin antes hacerlo pasar por un recuperador de calor con el objetivo de precalentar el aire de ventilación que llega desde el exterior, ver Figura 2. Para la ubicación del recuperador se han aprovechado los espacios comunes de escaleras, construyendo un falso techo que alberga los equipos y conductos. El sistema de ventilación está dotado de un sistema de “bypass” que permite evitar el sobrecalentamiento de la vivienda en verano.

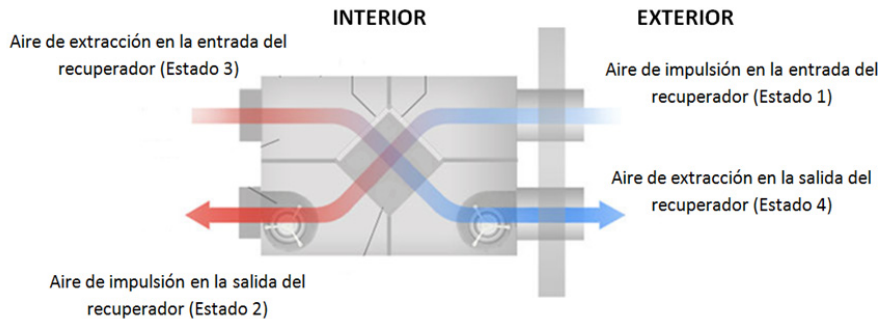


Figura 2. Foto del equipo de ventilación instalado en la vivienda (Izq.), y esquema del sistema de ventilación (Dcha.).

## METODOLOGÍA

Se han realizado mediciones de los parámetros necesarios para caracterizar el comportamiento energético del sistema de ventilación con recuperación de calor instalado. Los datos corresponden al sistema de ventilación instalado en la

vivienda 1º Izq. del portal Nº2 del bloque de viviendas de la calle Cuadrilla Laguardia-Rioja Alavesa (Vitoria- Gasteiz). Los datos recogidos han sido los siguientes, ver Figura 2:

- Temperatura del aire: en la impulsión, en la entrada del recuperador ( $T_1$ ) y en la salida del recuperador ( $T_2$ ); y en la extracción, en la entrada del recuperador ( $T_3$ ) y en la salida del recuperador ( $T_4$ ).
- Velocidad del aire: la velocidad en la entrada del recuperador para el aire de impulsión ( $V_1$ ), y en la salida del recuperador para el aire de extracción ( $V_4$ ).
- La potencia activa del sistema de ventilación.

Además de los parámetros necesarios para caracterizar energéticamente el comportamiento del sistema de ventilación, también se valora la calidad del aire interior en la vivienda como consecuencia de la instalación del sistema de ventilación. Para ello, se ha medido la concentración de  $CO_2$  en los locales habitables (habitaciones y salas de estar).

Utilizando los datos registrados se ha calculado la eficiencia del recuperador de calor, y con base en esta caracterización se ha ampliado el estudio para analizar el comportamiento para todo el año mediante simulación.

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

Los datos que se presentan en este trabajo corresponden al periodo comprendido entre el 20 de febrero y el 4 de abril de 2017. A lo largo de este periodo, durante el 70% del periodo total el sistema de ventilación trabaja en modo “intercambio de calor”, el resto del tiempo lo hace en modo “bypass”. La Figura 3 muestra los registros de la temperatura del aire de impulsión a la entrada del recuperador ( $T_1$ ) y a la salida del recuperador ( $T_2$ ).

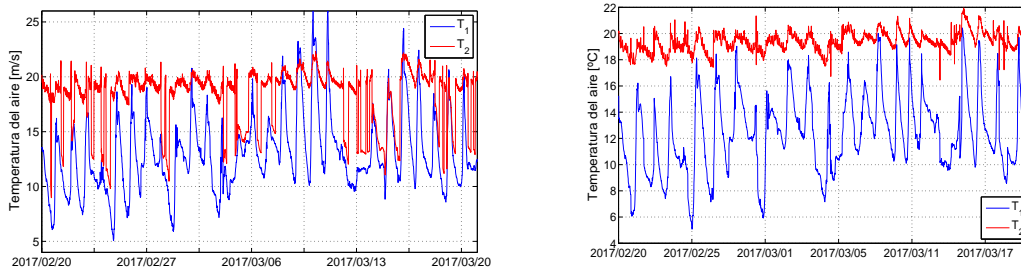


Figura 3. Temperatura del aire que llega desde el exterior, a la entrada ( $T_1$ ) y a la salida ( $T_2$ ) del recuperador: durante todo el periodo (Izq.), sólo cuando intercambia calor (Dcha.).

Como se aprecia en dicha Figura 3, hay un incremento notable de la temperatura del aire de ventilación que se impulsa al interior de la vivienda, lo que supone una reducción de la demanda de calefacción. Considerando únicamente los datos cuando el sistema se encuentra funcionando en modo “intercambio de calor”, el valor promedio del incremento de temperatura es en torno a los 7 °C ( $\sigma = 2,4$ ), el valor de la temperatura mínima a la que el aire entra en la vivienda se encuentra en torno a los 16 °C.

La Figura 4 muestra la evolución de la eficiencia del recuperador de calor durante el periodo de medición, solamente se consideran los valores cuando el sistema de ventilación funciona en modo “intercambio de calor”. La eficiencia del recuperador de calor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_3 - \theta_1}$$

En la Figura 4 se pueden observar una serie de mínimos que corresponden a los pasos del modo “bypass” al modo “intercambio de calor”. Tomando el conjunto de los datos presentados en esta figura, se obtiene que el valor promedio de la eficiencia del recuperador de calor es igual al 86,6% ( $\sigma = 3,5$ ).

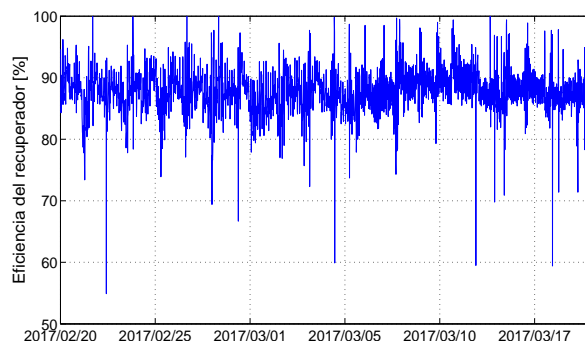


Figura 4. Evolución del valor de la eficiencia del recuperador cuando el sistema de ventilación trabaja en modo “intercambio de calor”.

La potencia consumida presenta un comportamiento que depende de la programación de los usuarios y la suciedad de los filtros. La Figura 5 muestra los registros del consumo de potencia del sistema de ventilación durante la primera semana de marzo de 2017 y la tercera semana de mayo de 2017.

Por una parte se comprueba que el sistema de ventilación modifica su régimen de funcionamiento en base a un horario determinado, modificando el caudal aproximadamente entre 75 y 100 m<sup>3</sup>/h. Además de eso, se detecta un aumento en el consumo de potencia con el paso del tiempo. Esto se debe a que las pérdidas de carga aumentan debido a la acumulación de suciedad en los filtros del sistema. Las mediciones de la potencia consumida durante el periodo de medición indican que la energía consumida durante tal periodo es igual a 44,3 kWh. Si este resultado se amplía a un año completo, el consumo total anual sería igual a 377,9 kWh.

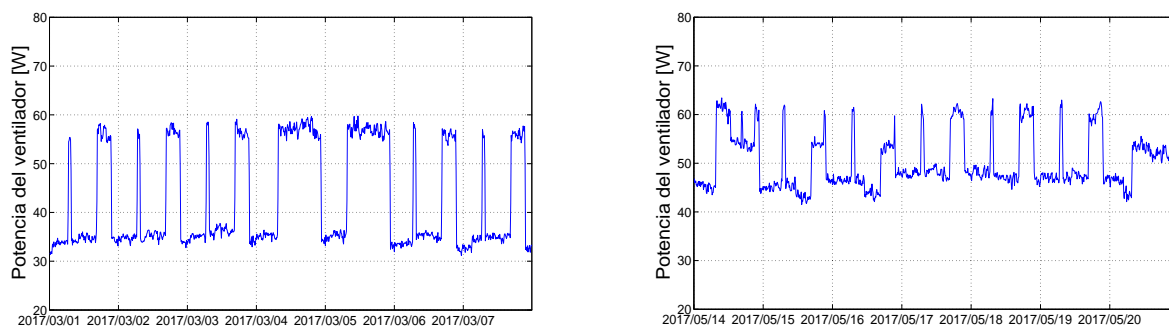


Figura 5. Evolución del consumo eléctrico del sistema de ventilación: primera semana de marzo de 2017 (Izq.), y la tercera semana de mayo de 2017 (Dcha.).

## Simulación para un año completo

Los resultados obtenidos corresponden a unas condiciones meteorológicas concretas, las ocurridas durante el periodo de medición. Las condiciones climáticas son cambiantes, por lo que la severidad del clima varía de año en año. Para que este factor no invalide el estudio, se ha ampliado el estudio utilizando un año meteorológico tipo para Vitoria-Gasteiz, junto con los siguientes resultados recogidos de las mediciones:

- Eficiencia del recuperador de calor: 86,6%
- Temperatura del aire interior: 20 °C
- Gasto de aire:
  - o Velocidad 1: 75 m<sup>3</sup>/h
  - o Velocidad 2: 100 m<sup>3</sup>/h



Estos datos se emplean para comparar el comportamiento del sistema de ventilación con recuperación (HRV) de calor con el sistema de simple de extracción continua (SEC). La Tabla I presenta las expresiones empleadas para el cálculo de la demanda de calefacción, el consumo de energía final en calefacción y operación del sistema de ventilación, y el consumo de energía primaria en calefacción y operación. Los subíndices empleados en esta Tabla I se corresponden con la nomenclatura definida para las entradas y salidas del recuperador indicadas en la Figura 2 anteriormente mencionada. El rendimiento de la caldera se considera igual al 92%. El consumo anual de energía final por operación del sistema SEC, es decir, la energía eléctrica requerida para el movimiento del aire, se define como la mitad que la determinada para el sistema con recuperación de calor que ha sido de 377,9 kWh. El consumo de energía primaria se calcula a partir del consumo de energía final, empleando para ello los siguientes factores de conversión: 1,2 para gas natural, y 2,37 para electricidad. Los resultados se presentan en la Tabla II.

Demanda de calefacción	Consumo de energía final	Consumo de energía primaria
$Q_{SEC} = m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_1)$	$Q_{SEC} = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_1)}{\eta_{Caldera}} + 189$	$Q_{SEC} = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_1)}{\eta_{Caldera}} \times 1,2 + 189 \times 2,37$
$Q_{HRV} = m \cdot c_p \cdot (1 - \varepsilon)(T_3 - T_1)$	$Q_{HRV} = \frac{m \cdot c_p \cdot (1 - \varepsilon)(T_3 - T_1)}{\eta_{Caldera}} + 377,9$	$Q_{HRV} = \frac{m \cdot c_p \cdot (1 - \varepsilon)(T_3 - T_1)}{\eta_{Caldera}} \times 1,2 + 377,9 \times 2,37$

Tabla I. Expresiones para el cálculo de demandas y consumos.

Tipo de sistema	Demanda calefacción (kWh)	Consumo de energía final (kWh)	Consumo de energía primaria (kWh)
Simple con extracción continua	2405	2803,2	3584,9
Sist. con recuperación de calor	322,3	728,2	1316

Tabla II. Resultados de demanda de calefacción y consumos de energía final y primaria en calefacción y operación.

A la vista de los resultados presentados en la Tabla II, es notable la diferencia entre los indicadores evaluados, por lo que claramente es ventajosa la instalación de sistemas de ventilación con recuperación de calor en edificios de viviendas situados en ciudades como Vitoria-Gasteiz.

### Calidad del aire interior

Los sistemas de ventilación se instalan para mantener una adecuada calidad del aire interior en las viviendas. En este caso, la calidad del aire interior se valora mediante las mediciones de concentraciones de CO<sub>2</sub> realizadas en los locales de admisión. La Figura 6 muestra la evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> durante un día laborable y un día festivo.

El Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación establece que la concentración media anual de CO<sub>2</sub> sea menor que 900 ppm, y que el acumulado anual de CO<sub>2</sub> que exceda 1.600 ppm sea menor que 500.000 ppm·h. La Tabla III presenta los valores medios y máximos registrados a lo largo de 6 meses en la vivienda.

Parámetro	Habitación NO	Habitación SE	Habitación SO	Sala de estar
Promedio	660	721	637	693
Máximo	1.701	1.650	1.042	1.147

Tabla III. Valor promedio y máximo de la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) en cada local habitable.

Se comprueba que el valor medio de la concentración de CO<sub>2</sub> es muy inferior al límite fijado. En cuanto al valor del acumulado anual, aunque el valor máximo de la concentración supere los 1.600 ppm en “Habitación NO” y “Habitación SE”, lo hace durante 10 y 30 minutos respectivamente.

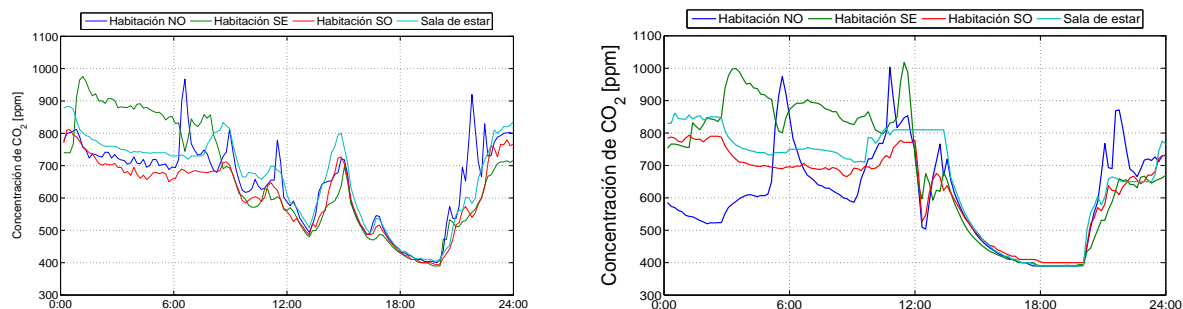


Figura 6. Evolución de la concentración de  $CO_2$  durante un día laborable y de fin de semana.

## CONCLUSIONES

La rehabilitación energética realizada sobre el bloque de viviendas situado en Vitoria-Gasteiz ha supuesto incorporar un sistema de ventilación en cada vivienda. El objetivo del sistema de ventilación es mantener una adecuada calidad del aire interior, pero la renovación de aire supone un aumento de la demanda energética. Para reducir en la medida de lo posible este inconveniente, se optó por un sistema de ventilación con recuperación de calor.

Las medidas de temperaturas, velocidades del aire y potencia consumida por el sistema de ventilación han servido para valorar el comportamiento del sistema de ventilación. Desde el punto de vista energético, el sistema de ventilación con recuperación de calor es claramente ventajoso. Según los resultados simulados para un año tipo, el ahorro con respecto al sistema de ventilación simple con extracción continua es del 74% si se considera el consumo de energía final, y del 63,3% en el caso del consumo de energía primaria.

En cuanto a la calidad del aire interior, tomando como referencia el DB HS3 del CTE, el sistema cumple con las limitaciones exigidas. De todas formas, sería necesario ampliar el estudio a otros contaminantes para completar el estudio de calidad de aire interior, e igualmente interesante hacer un contraste con la calidad de aire obtenida con sistemas SEC a partir de una monitorización de este último.

## REFERENCIAS

- Awbi H.B., Chapter 7-Ventilation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol2, 157-188, 1998.
- Commission of the European Communities, Action Plan for the energy efficiency, Brussels, 2006.
- IDAE, Análisis del consumo energético del sector residencial en España, 2011.
- International Energy Agency, Energy balances of OECD countries, IEA Statistics, 2010.
- Parlamento europeo y Consejo de Europa, Directiva 2006/32/CE, 5 de abril de 2006.
- Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, Directiva 2010/31/UE, 19 de mayo de 2010.
- Secretaría de Estado de Energía, La energía en España, Ministerio de Industria, 2010.
- Smith, B.J. et al., Health effects of daily, European Respiratory Journal, Vol. 16, pp. 879-885, 2000.
- World Health Organization, WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010.

## “BACNET IP” E “IOT”: TECNOLOGÍAS PARA DESARROLLAR EDIFICIOS “VIVOS EN CONSTANTE EVOLUCIÓN”

Roberto Iraola Pazos de Provens, Building Automation Manager, Beckhoff España

**Resumen:** Como es sabido en el sector cada vez toma más peso la tecnología de control en los edificios inteligentes si se quiere conseguir un grado de eficiencia energética elevado. Han habido muchas discusiones sobre qué protocolo utilizar para estos escenarios de control y cada vez toman más sentido las soluciones basadas en la utilización del Protocolo “Bacnet IP” como solución troncal para comunicar todos los subsistemas del edificio (iluminación, HVAC, persianas etc.) e “Iot” (Internet of things) como herramienta para la explotación y análisis de datos para conseguir “Edificios vivos” en los que constantemente podamos ir mejorando el grado de eficiencia energética. Es importante convencer a los usuarios que un Edificio no es un “ente muerto” si no “vivo” en constante evolución y no se puede evolucionar ningún sistema si no se tienen datos en cantidad y calidad suficiente para analizarlos y tomar medidas correctivas.

**Palabras clave:** Bacnet IP, Iot, Soluciones de Control para Edificios

### ESCENARIOS DE CONTROL DE EDIFICIOS A DIA DE HOY

Si analizamos el mercado de automatización de control de Edificios (Building Automation) de los últimos años veremos que efectivamente se realizaron mejoras cuantitativas importantes. Estas mejoras fueron en gran parte debidas a la utilización de sistemas de control para controlar los distintos “subsistemas” que se pueden encontrar en un Edificio, por ejemplo: control del sistema de climatización (HVAC), control de Iluminación, control de persianas etc.

La utilización de estos sistemas de control hace que se pueda llegar a ahorros energéticos importantes ya que por ejemplo podemos estar regulando el nivel de iluminación de un edificio dependiendo del aporte de luz natural que tengamos en el mismo, si además lo combinamos con “horarios” pre- establecidos por el usuario y además montamos detectores de presencia, estamos desarrollando el mejor de los escenarios para conseguir un grado de eficiencia energética realmente considerable.

Soluciones equivalentes nos encontramos cuando nos enfrentamos a un sistema de control “HVAC”, gracias a las nuevas tecnologías de control podemos realizar sistemas de control de caudal variable, es decir, estamos controlando el rendimiento de los climatizadores dependiendo del nivel de ocupación de salas en el edificio. Para hacer este tipo de control se necesita instrumentación específica para tales fines, controladores, sondas, etc., y el resultado es una vez más un gran ahorro energético.

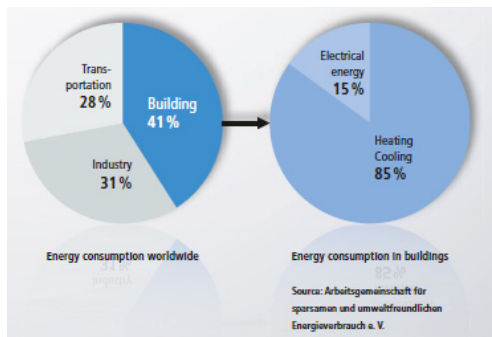
Exactamente igual podríamos estar hablando de cada uno de los subsistemas que componen el edificio y encontraríamos que en todos y cada uno de ellos conseguimos un ahorro energético más o menos considerable.



Figura 1. Sistemas de control BECKHOFF para Iluminación y HVAC.

Lo que queda meridianamente claro es que los días en que los empleados subían y bajaban las persianas, los controles de climatización y/o iluminación manualmente, son historias del pasado y nunca más se volverá a ellos. Hoy en día estos sistemas han sido reemplazados por sensores inteligentes y controladores que realizan las labores automáticamente dependiendo de una serie de variables preestablecidas o incluso por edificios que “aprenden”.

Por lo tanto, queda constatado que los profesionales del sector son conscientes de que si queremos conseguir un grado de eficiencia elevado en los edificios es necesario “invertir” en automatización lo cual tendrá un impacto directo positivo en el llamado “cambio climático”. Para ello, incluso instituciones internacionales realizaron una serie de normativas encaminadas a esta mejora (DIN EN 15232):



Building Automation and Control (BAC) Efficiency classes EN 15232

Efficiency class	Efficiency factor for thermal energy			Efficiency factor for electrical energy		
	Office	School	Hotel	Office	School	Hotel
<b>A</b> Highly efficient Building Automation and Control System (BACS) and Technical Building Management (TBM)	0.70	0.80	0.68	0.87	0.86	0.90
<b>B</b> Advanced BACS and TBM	0.80	0.88	0.85	0.93	0.93	0.95
<b>C</b> Standard BACS	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>D</b> Non-efficient BACS	1.51	1.20	1.31	1.10	1.07	1.07

Source: DIN EN 15232, table 9, table 11

Application function	BAC efficiency classes in accordance with DIN EN 15232			
	D	C	B	A
<b>Basic functions affecting energy efficiency</b>				
Occupancy control			X	X
Time program			X	X
<b>Illumination functions which influence energy efficiency</b>				
Light switching		X		
Automatic lighting			X	X
Daylight switching			X	X
Constant light control			X	X
<b>Solar shading functions which influence energy efficiency</b>				
Automatic solar shading		X		
Louvre adjustment			X	X
Shading correction			X	X
Thermo-automatic control			X	X
<b>Air conditioning functions</b>				
Energy level selection			X	X
Energy level selection with start optimisation			X	X
Target value calculation			X	X
Function selection			X	X
Temperature control (heating/cooling)		X	X	X
Room/intake air temperature cascade control			X	X
Ventilator control			X	X
Sequence control			X	X
Setpoint control			X	X
Air quality control/regulation				X
Night cooling			X	X
Load optimisation			X	X

Source: VDI 3813 part 2

Figura 2. Fuente: Revista internacional PC Control BECKHOFF.

## UN PASO MÁS EN LA TECNOLOGÍA DE SISTEMAS DE CONTROL DE EDIFICIOS

Una vez asumidos, desarrollados y puestos en marcha los distintos subsistemas de control que componen un edificio, nos damos cuenta que a pesar de que funcionen plenamente, al final lo que estamos implantando realmente son “ISLAS” de control, el sistema de control de iluminación será una isla, el sistema de control de HVAC será otra isla, el sistema de accesos será otra isla y así sucesivamente con todos los subsistemas. Además, veremos que muchas veces son “difícilmente” comunicables entre sí, ya que cada uno de ellos utiliza sus propias comunicaciones (protocolo / soporte físico), y lo que es peor, incluso muchas veces muchos de ellos son “propietarios”.

Todo esto hace que si nos damos una vuelta por muchos de los edificios que actualmente están en explotación veremos salas de control que son más propias de películas de ciencia ficción que de edificios reales, y lo que es más triste, nos encontramos con responsables de explotación de edificios relativamente nuevos que no son capaces de explotar en condiciones su edificio por que no disponen del código fuente de sus controladores y además tienen protocolos de comunicación propietarios.

Visto el escenario en el que nos estamos moviendo es absolutamente indispensable que empresas del sector como Beckhoff Automation, inviertan muchos recursos humanos y económicos en desarrollar tecnologías de control “ABIERTAS” y “MULTIPLATAFORMA”, de tal manera que se pueda acometer un proyecto de iluminación, HVAC, control de fachada etc., todo en una “misma plataforma de control de hardware” con la utilización de código abierto, standard y utilizando protocolos de comunicaciones también “abiertos y standard”.

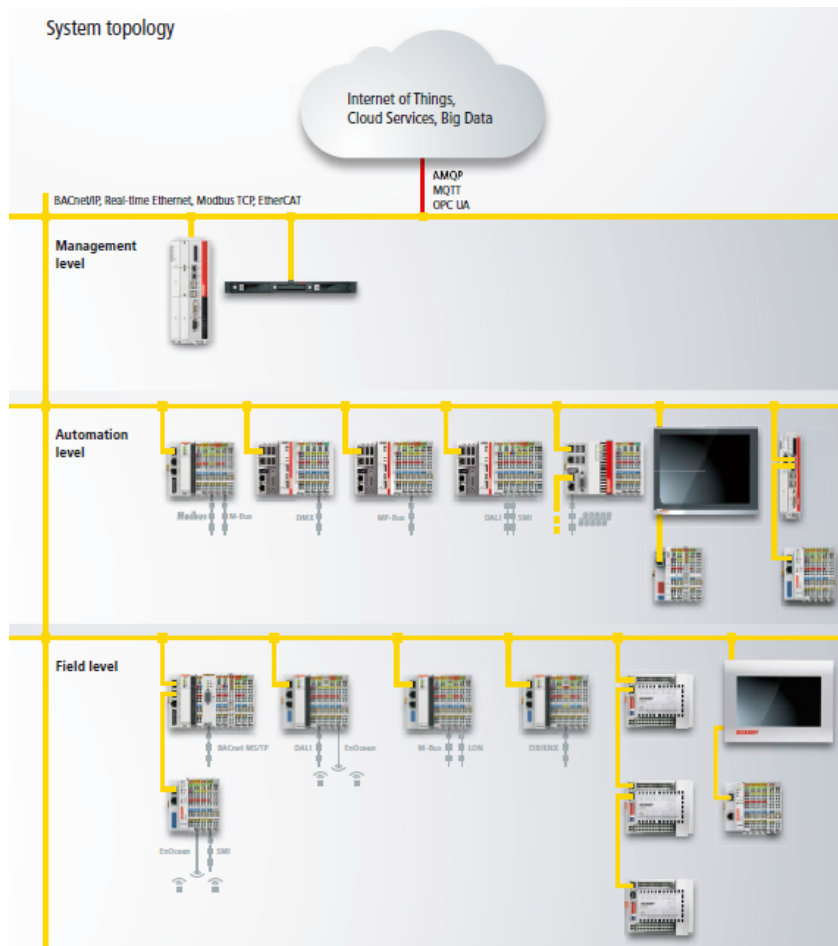


Figura 3. Típica arquitectura de control Beckhoff: “nivel de campo, nivel de automatización, y nivel de BMS/ Management.

Por lo tanto, lo más importante es que veamos nuestro sistema de control del edificio como un “todo” no como una suma de subsistemas independiente. Para ello; es importante la utilización de sistemas de control “multiplataforma” de tal manera que no tengamos que utilizar “pasarelas” de control, que siempre son puntos problemáticos desde el punto de vista de integración y de posibles fallos. La utilización de controladores que nos sirvan tanto para realizar un control de HVAC, de iluminación de sistemas de energías alternativas, de control de fachadas etc., se hace cada vez más indispensable.

Además, curiosamente y gracias a la implicación de muchos profesionales del sector, vemos que los subsistemas de control de los edificios (HVAC, Iluminación, accesos, ascensores, contra incendios etc.) van aumentando en pro de hacer los edificios cada vez más eficientes. Por ejemplo, grandes compañías están invirtiendo mucho esfuerzo y dinero en crear “sistemas de cubiertas” en edificios diseñadas para crear un ahorro energético con la utilización de capas vegetales, estas cubiertas disponen de una gran cantidad de sensores (humedad, temperatura, dirección del sol, etc.) que será necesario integrar con el sistema de control central BMS.

También es cada vez más habitual encontrarnos con edificios que disponen de estructuras móviles en fachada con el fin de impedir la incidencia directa de rayos solares que provoquen en determinadas épocas un calentamiento interior del edificio. Todos estos sistemas cuentan con accionamientos y sensores que tienen que ser manejados con sus propios controladores que deberán ser integrados en el BMS (Building Management System).

Visto por lo tanto como va evolucionando el sector del control en los edificios, nos damos cuenta que no es solo necesario el disponer de una multiplataforma, sino que además tenemos que integrar subsistemas de terceros. Por ello, es indispensable disponer de un protocolo de comunicaciones “universal y abierto” que se utilice todos de manera generalizada. Se lleva muchos años discutiendo qué protocolo sería el más óptimo y el más aceptado por el sector. En cuanto al soporte físico, hace ya tiempo que no se tenía duda y la gran parte de la comunidad estaba de acuerdo que Ethernet debería de ser el soporte físico seleccionado, tanto por su velocidad, su fácil instalación y su precio razonable, los tiempos del RS485 ya eran pasado.

...pero qué protocolo utilizar? Tras varios años analizando este tema finalmente se puede entender que el protocolo “de facto” para este sector es “BACNET IP”.

Hoy en día, cualquier fabricante de sistemas de control para edificios debe disponer de este protocolo en sus controladores. “Bacnet IP” no es solo un protocolo “abierto” si no que implementa lo que se denominan “objetos” (por ejemplo: el objeto scheduler), que deben de ser iguales en todos los fabricantes. Esto da una potencia enorme al protocolo ya que consigue estandarizar la comunicación entre todos los fabricantes de controladores y facilita su interoperabilidad.



Figura 4. Controladores BACnet IP

Otro aspecto a destacar es la utilidad “Discovery”, esta utilidad permite que desde el controlador central se puedan encontrar “todos los objetos” en la red, de tal manera que si estos están bien definidos no es necesario disponer de más información adicional para poder implementarlos en el BMS. Esto utilizando otros protocolos como Modbus TCP (por ejemplo) sería imposible hacerlo si no se conoce la dirección de la variable a la cuál se quiere “atacar”.

En los últimos tiempos se están realizando potentes actualizaciones y revisiones, destacando la implementación de la utilidad “COV” (Change of value), que está destinada para variables en las que no es necesario actualizar el valor de una manera crítica y solo es necesario conocer su estado cuando exista una modificación de las mismas. Esto “relaja” en gran manera las comunicaciones y es una forma de optimizar el “tráfico” en la red mejorando su rendimiento.

### ...Y AHORA QUÉ?

Se supone que todos los profesionales del sector tienen clara la utilización de las últimas tecnologías para conseguir la máxima eficiencia energética en los edificios, pero realmente ¿se tiene claro cuantitativamente lo que estamos ahorrando y hasta dónde podemos llegar? ¿Hay algún “patrón” de consumo con el que comparar mi edificio? ¿Mi edificio evoluciona positivamente desde el punto de vista de eficiencia energética?

Curiosamente, cuestiones como estas que debieran ser determinantes para cualquier mantenedor del Edificio pocas veces son planteadas. La mayoría de los mantenedores de los edificios se limitan a utilizar las herramientas que tienen y van poco más lejos de poner sus horarios, manejar sus alarmas y como mucho enviar sus “historical trends” a una base de datos (o carpeta de informes) que la mayoría de las veces ni se consulta mientras el edificio “no dé problemas”. La cuestión es: ¿Después de hacer una inversión en el sistema de control no parece un poco “pobre” no explotarlo y dejar que el edificio sea un ente muerto en lugar de un ente vivo en constante evolución?

Desafortunadamente esto es lo que ocurre en muchos de los edificios que actualmente existen en nuestro país, es más, aunque parezca mentira ... ¡cuántos edificios están en “manual” después de tener implantando un sistema de control automático! Esta es una cuestión sobre la que se debería reflexionar.

Dejando aparte esta realidad de edificios sin explotar aún estando dotados de sistemas de control, se podrían plantear preguntas a los mantenedores de edificios en explotación, como por ejemplo: ¿realmente disponen de datos tanto cualitativamente como cuantitativamente suficientes para analizar su edificio? ¿Disponen de patrones de consumo o paradas de sistemas para poder comparar su edificio y ver si hay que adoptar acciones correctivas? ¿Se realizan análisis periódicos de consumos comparativos y se ven las causas en caso de pasar los límites? ¿se podrían bajar todavía más los límites de consumos sin impactar en el confort?

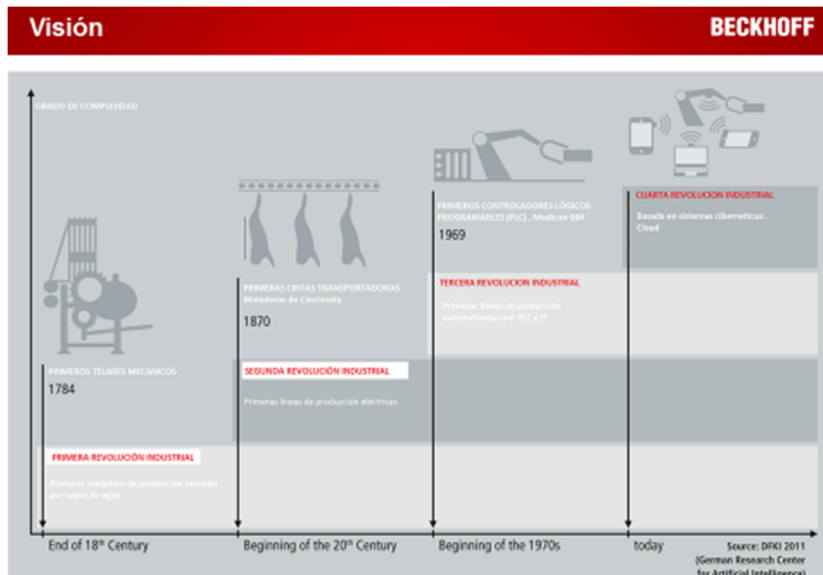


Figura 5. Internet of things.

Todas estas preguntas toman además más cuerpo cuando hablamos de empresas u organismos que tienen más de un edificio en explotación. Existen ejemplos de grandes compañías internacionales u organismos estatales que tienen muchos edificios alrededor del mundo y/o país.

Visto este escenario cabría pensar si la tecnología es capaz de aportarnos herramientas útiles para dar respuesta a todas esas preguntas, y a día de hoy se puede asegurar que sí. Actualmente, ya se está hablando de la cuarta revolución industrial que viene de la mano de las tecnologías cibernéticas, todos hemos oído hablar del “Iot” (internet of things) aquí está la respuesta. Esta tecnología se lleva utilizando con gran éxito en la Industria en los últimos años dando nombre a términos como “Industry 4.0 ¿por qué no extenderla al sector del control de edificios y denominarla “Building 4.0”? Una buena forma de mejorar replicando tecnologías que ya fueron un éxito en otros sectores. Esto no es una visión de futuro, si no que ya se está utilizando con gran éxito en otros países como Alemania o incluso en España (recordar que el concepto “Smart City” está muy ligado a esta tecnología). Algunos ayuntamientos de España están adoptando esta tecnología con gran éxito en diferentes proyectos novedosos.

En cualquier caso, si lo que se quiere hacer es “analizar” lo que es indiscutible es que el primer paso será “disponer” de datos y que estos sean suficientes tanto en calidad como en cantidad. Para ello, deberemos “pedir” a nuestros controladores (bien sean de clima, de iluminación, etc.) que ya que están haciendo el control de su subsistema y disponen de los datos para ello, nos lo “suban” directamente a nuestra herramienta de explotación, de esta manera no será necesario dar de alta datos que estén repetidos y duplicar la base de datos. Por lo tanto, es importante que nuestros controladores aparte de “hablar” BACnet IP como solución troncal del edificio, sean capaces de “hablar” los protocolos considerados standard dentro del mundo del “Iot”. Protocolos como MQTT, AMQP u OPC UA deben de ser nativos en nuestros controladores.

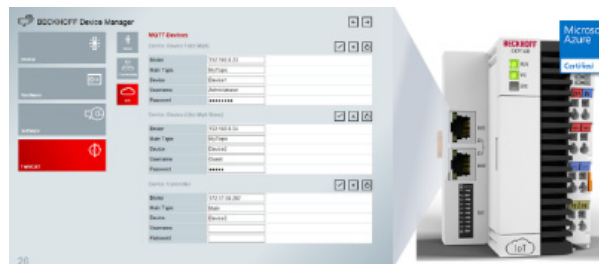


Figura 6. Controladores con conexión directa a la Nube.

Una vez que hemos sido capaces de “subir” todos estos datos a “La Nube” (bien sea pública o privada) ya pueden ser analizados y se pueden tomar las acciones correctivas que sean necesarias en la explotación de nuestros edificios. Es importante destacar que la seguridad de estos protocolos y su estabilidad en las diferentes “Nubes” están garantizadas. Compañías como Microsoft (Azure), Amazon (AWS) o Google (Cloud Platform) disponen de esta tecnología estable y segura. En consecuencia, con estas herramientas ya es más viable crear “patrones” de comportamiento de edificios y poder utilizarlos para la mejora de otros.

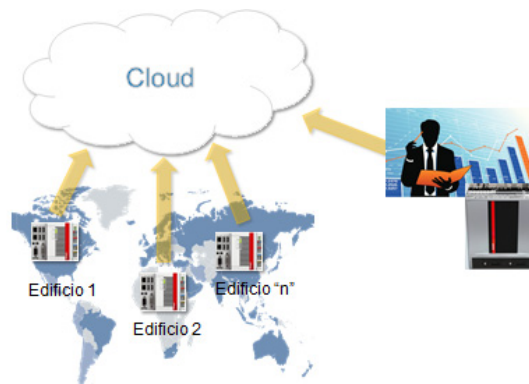


Figura 7. Arquitectura Building 4.0.

Como conclusión, se puede afirmar que las herramientas ya están disponibles. La pregunta es si estamos dispuestos a utilizarlas. La concienciación del sector es importante.



# LA TECNOLOGÍA DIGITAL APLICADA EN CERÁMICA QUE MEJORA LA CALIDAD DE LOS EDIFICIOS Y DEL ENTORNO

**Valentino Capucci**, Responsable de investigación y desarrollo de ACTIVE, Iris Ceramica Group  
**Claudia Bianchi**, Profesora de química, Universidad de Milán  
**Melissa Meliá**, Departamento de Marketing, Matimex

**Resumen:** Se va a presentar la comunicación sobre Active, la única cerámica para pavimentos y revestimientos certificada por normas ISO (10678, 27448-1, 27447) y UNI 11484, capaz de integrarse en el ambiente mejorando la calidad de éste con la aplicación del Dióxido de Titanio (TiO<sub>2</sub>) sobre la cerámica. Esto hace que sea anticontaminante, se elimina hasta el 70% de agentes contaminantes; bactericida, elimina el 99,9% de bacterias; autolimpiante, el TiO<sub>2</sub> aplicado les da una propiedad superhidrofílica; y eliminador de olores, expulsan moléculas y mejoran el aire. Se expondrá un proyecto cómo ejemplo de la aplicación del producto fotocatalítico ACTIVE (proceso donde el TiO<sub>2</sub>, activado por la luz, natural o artificial, y el aire acelera la rapidez de reacción, provocando que las sustancias orgánicas e inorgánicas nocivas se conviertan en compuestos inocuos) en un edificio, o cualquier otra construcción, y cómo es posible mejorar el entorno en el que vivimos. Con Active se deja de ser agentes pasivos ante la contaminación de las ciudades y del entorno que nos rodea.

**Palabras clave:** Cerámica, Arquitectura, Sostenibilidad, Bienestar, Innovación, Certificación ISO, Medioambiente, Bactericida, Eliminador de Olores, Autolimpiante

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas estrategias en el desarrollo de materiales innovadores capaces de mejorar la calidad de los entornos en que acontecemos cotidianamente día a día, es uno de los retos más grandes de la era moderna. En esa investigación, hay un papel muy importante dentro del campo de los materiales de construcción y los acabados en edificios, por lo que en la simple materia prima, la base de la producción de los cementos, de los revestimientos cerámicos internos y externos y de todos los materiales de los espacios, pueden tener un papel "activo" en mejorar el bienestar de las personas.

Active Clean Air & Antibacterial Ceramic da esta solución a los arquitectos y proyectistas, especialmente a aquellos que están atentos en el bienestar de las personas, y cada vez más en viviendas, despachos, escuelas, etc. Desafortunadamente, las mismas especies contaminantes que están en el exterior también se encuentran dentro de los edificios. Las propiedades fotocatalíticas del dióxido de titanio, lo convierte en uno de los semiconductores más utilizado, y su aplicación le otorga propiedades particulares a las superficies del gres porcelánico, transformándolo en un producto eco-activo.

La fotocatalisis es el proceso químico por el cual un fotocatalizador, en este caso el TiO<sub>2</sub>, activado por la acción combinada de la luz (solar o artificial) y del aire, fundamentalmente de la humedad ambiental, acelera la velocidad de oxidación de los compuestos contaminantes, convirtiéndolos en sustancias inocuas.

La aplicación de TiO<sub>2</sub> es un proceso que garantiza la estabilidad y el mantenimiento de las propiedades a lo largo de la vida útil de la cerámica.

La tradicional tecnología permitió conseguir baldosas "activas" que mantenían inalteradas las características intrínsecas del gres, pudiendo ser utilizadas en revestimientos y pavimentos con alto tráfico. Ahora, la tecnología Active ha tenido una gran transformación, se trata de la tecnología digital, evitando derroches de agua y TiO<sub>2</sub> y además es posible activar baldosas de dimensiones muy grandes, hasta 160x320 cm. Razón por la que las baldosas, certificadas por normas ISO, mantienen todas las propiedades fotocatalíticas de la cerámica Active gracias a una mejor distribución de las partículas de dióxido de titanio sobre la superficie cerámica.

Las baldosas Active son capaces de degradar las moléculas presentes sobre la superficie cerámica en sólo 28 horas a diferencia de las 70 horas del anterior sistema (ISO 27448). Esto permite tener siempre superficies limpias con el simple paso de un paño mojado y detergentes neutros evitando el empleo de productos agresivos, que suelen ser tóxicos y costosos.

Además, cuando las baldosas fotocatalíticas son usadas como revestimiento externo, la suciedad causada por el polvo y la contaminación de las ciudades, donde todas las partes de los edificios tienden a tener una tonalidad gris, es removida por la lluvia.

La nueva tecnología Active Clean Air & Antibacterial Ceramic, permite ecoactivar las grandes placas mediante el uso de la aplicación digital. De este modo se mejora la capacidad fotocatalítica de las placas cerámicas en términos de mayor eficiencia en acción antibacteriana y degradación de los contaminantes del aire y de los olores.

El avance tecnológico de Active se ha desarrollado a través del proyecto Digitalife financiado por la Comunidad Europea (LIFEENV/IT/000140), que posibilitó la producción de las nuevas placas fotoactivas poniendo aún más atención en el medioambiente. La nueva tecnología utiliza el TiO<sub>2</sub> en forma micrométrica, y permite una distribución del material fotoactivo más uniforme sobre la superficie de las placas, lo que aumenta la eficiencia del mismo. Digitalife mantiene las características del gres porcelánico y permite su aplicación en cualquier superficie: pavimento, revestimiento, mobiliario, puertas, encimeras de cocina o baño.

## PROYECTO Y METODOLOGÍA

Se trata del proyecto del Centro Médico y de Bienestar Milenium Alcobendas de Sanitas donde están aplicadas las baldosas con la propiedad Active Clean Air & Antibacterial Ceramic.

Es un innovador sistema constructivo de fachada ventilada en el nuevo centro Sanitas, donde el edificio cuenta con una superficie de 1.900 metros cuadrados distribuidos en cuatro plantas y 1.500 metros cuadrados de fachada.



Figura 1. Fachada del edificio. & Figura 2. Perspectiva de toda la fachada del edificio de la parte frontal.

Este nuevo concepto presenta, por un lado, una Fachada Ventilada más versátil y más segura que garantiza que piezas y estructura lleguen a obra como una única unidad. Por otro lado, el revestimiento que define la cara exterior de la fachada es el material cerámico eco-activo.

Esto es un ejemplo concreto de la selección de materiales idóneos para la arquitectura que permiten, no solo mejorar el aspecto externo del edificio, sino también colaborar con la mejora de la calidad del aire que todos respiramos.

Desde su construcción y aplicación de la cerámica en el exterior del edificio, se comprobó la efectividad de su propiedad anti-smog y la cantidad de NO<sub>x</sub> que su superficie fue degradado a lo largo del primer año, a través de las investigaciones del Departamento de química de la Universidad de Milán, lideradas por la Profesora Claudia Bianchi.

Según el certificado que emitió la Profesora, las baldosas fotocatalíticas no solo proporcionan un buen desempeño catalítico [Bianchi C.L. et al., CCC, 36 (2013) 116], sino que también cumplen con los requisitos estándar en lo que respecta a dureza, porosidad, superficie vitrificada y durabilidad y se presenta como una alternativa muy práctica para la depuración del aire.

Las pruebas de degradación fotocatalítica llevadas a cabo en aire, utilizando tanto NO<sub>x</sub> como VOCs como modelos de contaminantes, confirman el buen desempeño de las baldosas para atacar a la contaminación ambiental [Bianchi C.L. et al. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2012, Article ID 970182].

## DATOS

La fachada de Sanitas cuenta con una superficie de 1.500 m<sup>2</sup> revestida con piezas cerámicas de dimensiones 120 cm x 60 cm. Sobre la base de estas pruebas de laboratorio realizadas, es posible afirmar que, gracias a la presencia de estas baldosas sobre la fachada del edificio Sanitas, en un año se consiguió:



Figura 3. Datos de cuál es el resultado de la fachada en un año.

Los espectaculares beneficios de esta cerámica fotocatalítica que se activa con la luz y la humedad, han sido probados y certificados por el Tile Council of North America (TCNA) y por el Centro Cerámico di Bologna (CCB) en un programa especial de investigación y comprobación realizado conjuntamente.

La detección específica de los contaminantes más importantes (NO<sub>x</sub> y PM10) son por tanto objeto de un estudio detallado y de comparaciones entre datos detectados y valores previstos por la Directiva europea 2008/50/CE, relacionada con la calidad del aire y una atmósfera más limpia en Europa (acogida en España mediante el Real Decreto 102/2011, del 28 de enero), que describe con precisión y meticulosidad la metodología a seguir para determinar la concentración de moléculas contaminantes en el aire y los valores considerados límite y/o críticos en relación con dichas moléculas, con el objeto de garantizar la salvaguardia de la salud pública.

Los parámetros límite y los niveles críticos con respecto al NO<sub>2</sub> correspondiente a la protección de la salud humana, y el denominado umbral de alarma se pueden ver en la siguiente tabla:

Valores límite (NO <sub>2</sub> ) (Anexos XI y XII de la Directiva Europea 2008/50/CE)	
Valor anual límite (NO <sub>2</sub> )	40 µg/m <sup>3</sup>
Valor límite horario (NO <sub>2</sub> ) (que no puede exceder en más de 18 días/año)	200 µg/m <sup>3</sup>
Umbral de alarma(NO <sub>2</sub> )	400 µg/m <sup>3</sup>

Tabla I. Valores límite (NO<sub>2</sub>). Anexos XI y XII de la Directiva Europea 2008/50/CE.

Un informe sobre la calidad del aire en Madrid confirma que el dióxido de nitrógeno es un contaminante que presenta valores de concentración elevados, como se puede ver en el siguiente gráfico.

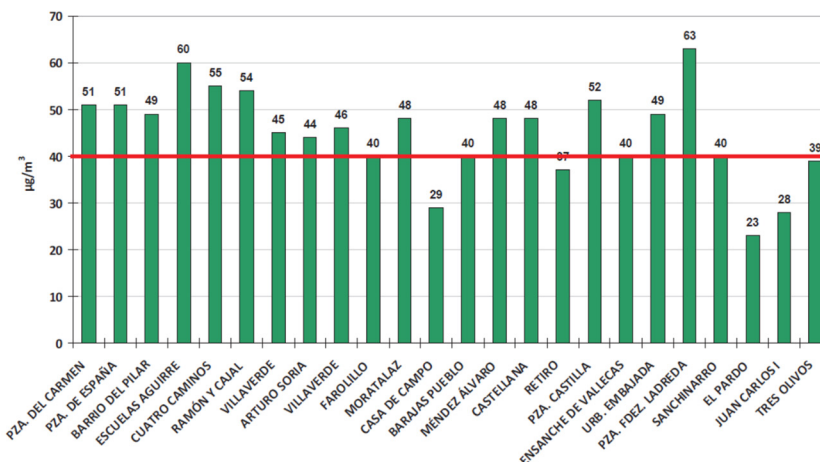


Figura 4. Calidad del aire en diferentes zonas de Madrid.

En el cuadro anterior, se obtienen los valores medios de cada estación de monitoreo en función del valor límite establecido. La línea roja del gráfico representa dicho valor límite anual, que se ubica en  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ver Tabla I) y puede apreciarse como en la mayor parte de los casos este valor es excedido.

Aún más alarmante es el dato del número de veces en el cual el valor límite horario ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) viene superado en un año. La normativa europea prevé un máximo de 18 veces (ver Tabla I), pero puede observarse del gráfico que se presenta a continuación como algunas centrales reportan una excedencia anual mucho más elevada (por ejemplo, 103 veces en un año para la central en Pza. Fdez Ladreda).

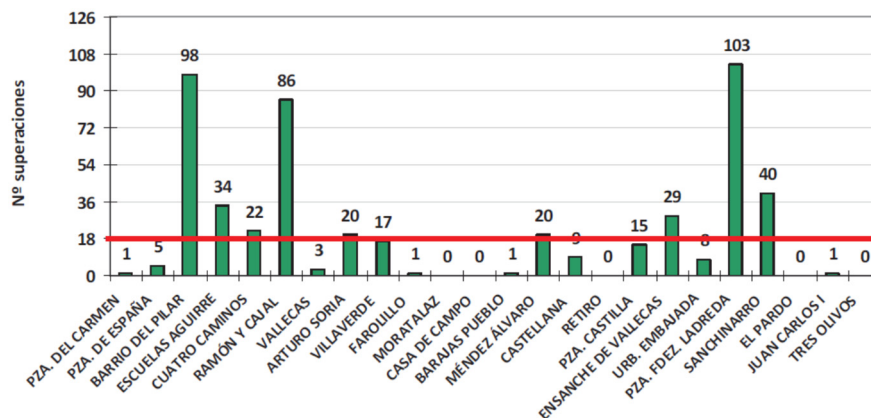


Figura 5. Superaciones del valor límite horario

Las mediciones de actividad fotocatalítica practicadas en las piezas cerámicas Active muestran de manera inequívoca su eficacia cuando se encuentran en condiciones de contaminación real [Bianchi C.L. et al. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2012, article ID 970182].

Cuando el contenido de  $\text{NO}_2$  es equivalente al nivel límite horario ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), las piezas cerámicas WGA están en capacidad de reducir los valores de contaminación llevándolos por debajo del umbral de los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en poco más de tres horas.

En el caso extremo de niveles de óxidos de nitrógeno próximos al umbral de alarma ( $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), las piezas cerámicas WGA están en capacidad de reducir el índice contaminante y llevarlo por debajo del umbral límite establecido por la ley ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en seis o siete horas.

## RECONOCIMIENTOS

La **Oficina Europea de Patentes** concedió y publicó la patente número **EP2443076** relativa al material fotocatalítico Active Clean Air & Antibacterial Ceramic y al procedimiento de fabricación del mismo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Valentino Capucci y Claudia Bianchi por la implicación en la investigación diaria de este producto que mejora la calidad de vida de las personas, edificios y entorno.

## REFERENCIAS

- Bianchi C.L. et al. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2012, Article ID 970182.
- Bianchi C.L. et al., *CCC*, 36 (2013) 116.
- <http://www.active-ceramic.es/>
- [www.matimex.es](http://www.matimex.es)

# BLOQUE DE VIVIENDAS EN ASTURIAS DE ENERGÍA POSITIVA COMBINANDO EL AUTOCONSUMO COMPARTIDO, LA AEROTERMIA Y LA RECUPERACIÓN DE CALOR

**Aser Moris Rodríguez**, Ingeniero Industrial, MORIS ARROES

**Resumen:** Bloque de viviendas en Villaviciosa (Asturias) que cumpliendo los niveles de aislamiento del CTE HE1 y mediante la integración de sistemas activos logra llegar a una calificación energética negativa calculada mediante HULC, es decir, bloque de viviendas de energía positiva, generadora de más energía que la que consume. Teniendo como máximo objetivo del proyecto aumentar el valor añadido del inmueble de forma amortizable, utilizando las energías renovables disponibles y eficientes como valor diferencial. Esta instalación centralizada combina la bomba de calor aire- agua aerotermia, con suelo radiante, la ventilación individual con recuperador activo de calor y con la integración de energía fotovoltaica para alimentación de estos sistemas, gracias a sentencia del Tribunal Constitucional que anula el artículo 4.3 del RD 900/2015, que prohibía el autoconsumo compartido. Dejando abierta también la posibilidad de la instalación de puntos de carga de coche eléctrico y abastecimiento a otros servicios comunes.

**Palabras clave:** Edificio Energía Positiva, Renovables, Eficiencia, Aerotermia, Recuperación de Calor, Fotovoltaica, Autoconsumo

## ANTECEDENTES

El proyecto se empieza a gestar debido a la gran acogida comercial que comienzan a tener las instalaciones en bloque de viviendas en Asturias con aerotermia centralizada para calefacción y ACS.

El mercado empieza a valorar sistemas que aumenten al máximo la eficiencia energética y el ahorro de las viviendas, tanto de forma pasiva como de forma activa. Por eso en este proyecto se parte de la base mínima que sería un edificio que cumpla con CTE HE 1 (demanda), HE 0 (consumo) y con la HE 4 (contribución solar térmica).

## PROYECTO

### Parámetros Generales

El bloque de viviendas está ubicado en Villaviciosa, en la céntrica zona del casco viejo, y está compuesto por 8 viviendas, que contabilizan un total de 815,01 m<sup>2</sup> para calefactar, ventilar e incluso llegar a refrigerar. El emplazamiento está cerca de la costa por lo que tenemos que las temperaturas exteriores nunca van a ser extremas ni en verano ni en invierno, las condiciones óptimas para aerotermia.

Al buscar la mejor solución a nivel de eficiencia térmica y teniendo como objetivo sacar el mayor COP al funcionamiento de la bomba de calor aire agua la instalación se proyecta para usar suelo radiante como emisor final. Esto se logra con mínima temperatura de impulsión para calefacción, fijando 36°C como temperatura máxima de funcionamiento. Como efecto colateral del suelo radiante también se mejora el aislamiento acústico.

La promotora y la dirección facultativa buscan una construcción de referencia. No solo les sirve llegar a una calificación energética A, sino que quieren algo diferencial y que marque una clara ventaja competitiva. Este diferencial se va a basar en llevar a cabo un edificio de energía casi nula o incluso una mejora para alcanzar un bloque de viviendas que sea de energía positiva.

### Cálculo necesidades y simulación 3D

Para comenzar con el análisis de posibilidades térmicas para esta edificación, se definen las necesidades de calefacción, agua caliente y ventilación que tendrán las viviendas a nivel individual y nivel colectivo para poder analizar también las opciones de centralización para la producción de agua caliente sanitaria. Para llevar a cabo este cálculo se utiliza el software informático CYPE en la versión 2017.

En el programa se reproduce a nivel de detalle toda la edificación, definiendo cada uno de los cerramientos que forman la envolvente térmica. De esta manera se pueden buscar los aislamientos óptimos en la balanza técnico-económica.

Las condiciones generales para el cálculo son:

- emplazamiento, Villaviciosa
- temperatura exterior de diseño, 3,20°C
- temperatura media exterior anual, 14.07°C
- temperatura del terreno, 7.10°C
- porcentajes de mayoración de carga, N 10%, E 7%, O 7%, S 0%
- una mayoración de cargas en invierno por intermitencia de 5.0 %
- método de cálculo de cargas mediante UNE-EN 12831

Con la simulación de la vivienda se determina la potencia en calefacción de 36.961 W (en su momento máximo), con un valor medio de 28.6 W/m<sup>2</sup>. Estos parámetros son los esperados para un bloque de viviendas conforme al CTE 2017, en el que la demanda estaría cerca de los 30 W/m<sup>2</sup>. La demanda energética de ACS anual sería de 18.231 kWh/año y la de calefacción ascendería a 100.990 Kwh/año.

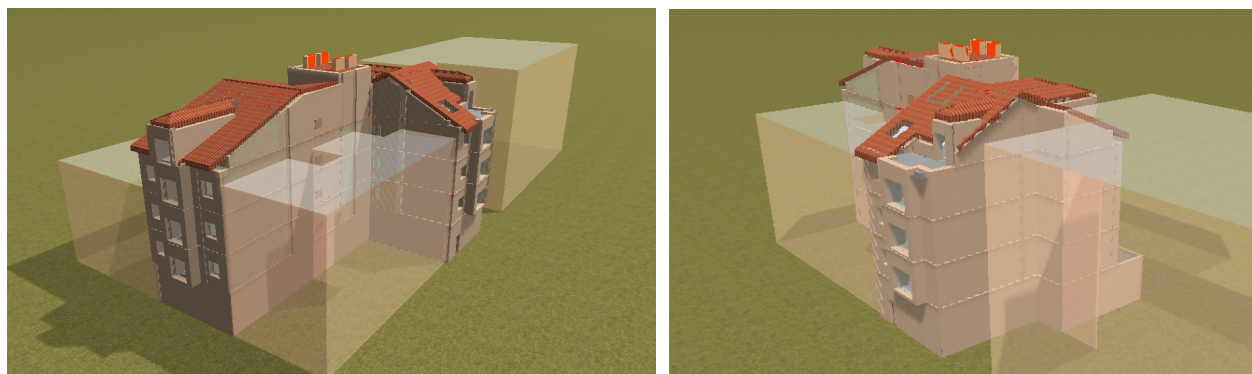


Figura 1. Vivienda Simulación Cype.

## METODOLOGÍA

Para poder analizar y cuantificar las mejoras en sistemas activos más interesantes se tienen que llevar a cabo las siguientes comparaciones:

- bomba de calor aire agua para calefacción y producción de ACS centralizada frente a la instalación convencional de caldera de gas con condensación con un rendimiento estacional del 92% con apoyo de energía solar térmica para la producción del 30% ACS,
- la recuperación de calor frente a la simple extracción mecánica,
- la influencia en la calificación energética de la instalación fotovoltaica para autoconsumo compartido

Los cerramientos no se modifican en estas simulaciones, así como tampoco los valores de los puentes térmicos, en este análisis esas variables quedan como constantes. Se utiliza la herramienta HULC, para la obtención de los resultados, esta es la herramienta del Ministerio, por lo que se considera la procedente.

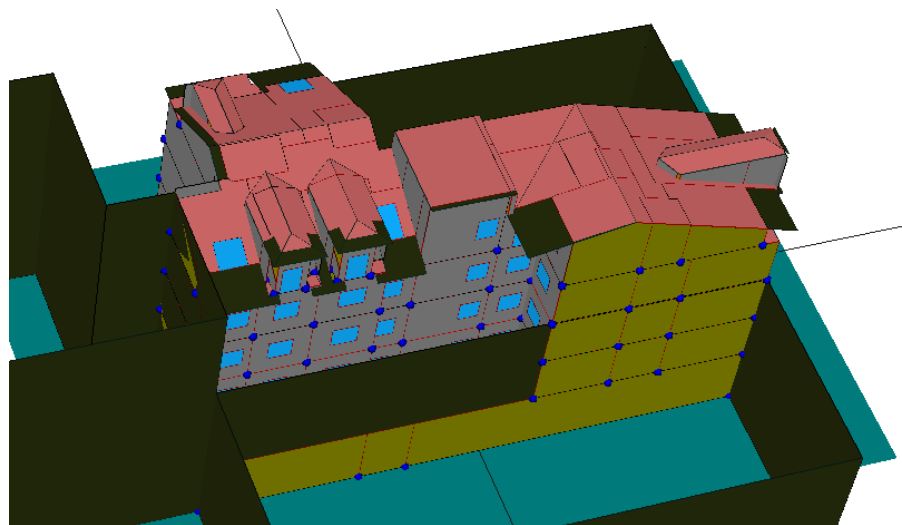


Figura 2. Vivienda Simulación HULC.

El bloque de viviendas cumple con lo establecido en nivel de demanda y de consumo por el CTE HE 0-1.

Demandas energéticas de calefacción y de refrigeración*					
$D_{cal}$	20,86	kWh/m <sup>2</sup> año	$D_{cal,lim}$	20,89	kWh/m <sup>2</sup> año <input type="text" value="Sí cumple"/>
$D_{ref}$	0,83	kWh/m <sup>2</sup> año	$D_{ref,lim}$	15,00	kWh/m <sup>2</sup> año <input type="text" value="Sí cumple"/>
Consumo de energía primaria no renovable*					
$C_{ep}$	37,07	kWh/m <sup>2</sup> año	$C_{ep,lim}$	51,33	kWh/m <sup>2</sup> año <input type="text" value="Sí cumple"/>

Figura 3. Verificación de Requisitos de CTE HE 0 y HE1 mediante HULC.

## RESULTADOS

Una vez analizados todos los escenarios se pueden ver los resultados de cada sistema.

Con estos valores de partida se comienzan a calificar y valorar las 4 opciones de instalaciones.

- **Caldera de Gas Condensación Individual 92% + Energía Solar 30% ACS + Extracción Mecánica:** Se comienza con la opción común que sería la instalación de calderas murales de gas con condensación individuales mixtas, con un sistema centralizado Solar Térmico para la producción de 30% de la energía anual de ACS. Esta solución sería la más tradicional.
- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Extracción Mecánica:** esta solución ya se ha implementado en Asturias y ha funcionado muy bien como reclamo de valor añadido. Por lo que, en emplazamientos céntricos, suele ser la opción a ejecutar.
- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual:** proyectada para bloques de vivienda en los que se quiere dar un confort óptimo, la instalación aportaría calefacción, ventilación y refrigeración. Opción que optimiza la inversión con el aislamiento en cerramientos.
- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual+ Producción Fotovoltaica para Autoconsumo 28 Paneles:** opción más innovadora y que solo se puede valorar ahora que el Tribunal Constitucional ha declarado nulos varios de los artículos del RD 900/2015, (el apartado 3 del art. 4 así como los artículos 19, 20, 21 y 22). De forma que se puede aprovechar la generación fotovoltaica para servicios comunes. Con en este caso la aerotermia es centralizada, es un servicio común que se puede alimentar de la generación fotovoltaica.

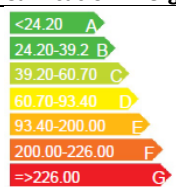

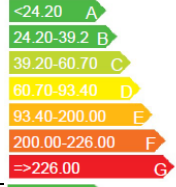
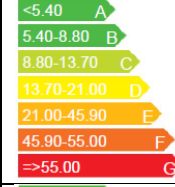
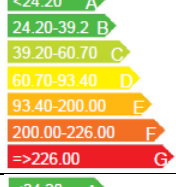
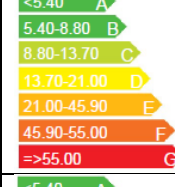
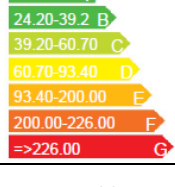
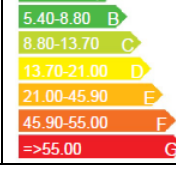
Instalaciones Activas	Calificación Energía Primaria		Calificación Emisiones CO <sub>2</sub>	
Caldera de Gas Condensación Individual + Energía Solar 30% ACS + Extracción Mecánica		37,07 B		7,82 B
Bomba de Calor Aire-Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Extracción Mecánica		26,47 B		4,65 A
Bomba de Calor Aire-Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual		14,42 A		2,50 A
Bomba de Calor Aire-Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual + Producción Fotovoltaica para Autoconsumo 28 Paneles		-2,59 A		-0,38 A

Tabla I. Calificaciones HULC.

## IMPACTO ECONÓMICO

Teniendo en cuenta que la promoción de viviendas con calificación “A” resulta atractiva al consumidor final, se puede deducir que una edificación que se considerará como **vivienda de energía positiva o calificación energética negativa** debería ser desde el punto de vista de marketing muy interesante para el promotor, ya que podría transmitir fácilmente su diferenciación con el resto y su compromiso con la calidad y el medioambiente.

Pero se hace necesario ver qué incremento en la inversión se produce, ya que en función de este puede resultar viable o no. Como parte este proyecto se analiza en detalle la inversión económica.

- **La instalación básica de Caldera de Gas Condensación Individual + Energía Solar 30% ACS + Extracción Mecánica tendría un coste que se desglosaría de esta forma:**
  - o Caldera de Gas Condensación Individual: 32.549,24 €
  - o Instalación Suelo Radiante: 29.340,36 €
  - o Energía Solar 30% ACS: 6.724,80 €
  - o Extracción Mecánica: 5.850,00 €
    - Total Bloque: 74.464,40 €
    - Total por Vivienda: 9.308,05 €
- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Extracción Mecánica**
  - o Aerotermia Centralizada Calefacción y ACS: 44.637,37 €
  - o Instalación Suelo Radiante: 29.340,36 €
  - o Extracción Mecánica: 5.850,00 €
    - Total Bloque: 79.827,73 €
    - Total por Vivienda: 9.978,46 €



- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual**
  - o Aerotermia Centralizada Calefacción y ACS: 44.637,37 €
  - o Instalación Suelo Radiante: 29.340,36 €
  - o Recuperador de Calor Individual: 25.689,68 €
    - Total Bloque: 99.667,41 €
    - Total por Vivienda: 12.458,42 €
  
- **Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual+ Producción Fotovoltaica para Autoconsumo 28 Paneles**
  - o Aerotermia Centralizada Calefacción y ACS: 48.637,37 €
  - o Instalación Suelo Radiante: 29.340,36 €
  - o Recuperador de Calor Individual: 25.689,68 €
  - o Producción Fotovoltaica para Autoconsumo 28 Paneles: 12.320,80 €
    - Total Bloque: 115.988,21 €
    - Total por Vivienda: 14.498,52 €

Sobrecoste	Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Extracción Mecánica	Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual	Bomba de Calor Aire Agua Centralizada para Calefacción y ACS + Recuperador de Calor Individual+ Producción Fotovoltaica para Autoconsumo 28 Paneles
Por Edificio: Caldera de Gas Condensación Individual + Energía Solar 30% ACS + Extracción Mecánica	+ 5.363,33 €	+ 25.203,01 €	+ 41.523,81 €
Sobrecoste Porcentual	+ 6,7%	+ 25,28%	+ 35,80 %
Por Vivienda: Caldera de Gas Condensación Individual + Energía Solar 30% ACS + Extracción Mecánica	+ 670,42 €	+ 3.150,38 €	+ 5.190,98 €

Tabla II. Análisis Económico de las Inversiones.

## CONCLUSIONES

Una vez que la sociedad y sobre todo los potenciales compradores de viviendas en edificios se han concienciado que la eficiencia y la calificación energética son algo más que un papel que se les da en el libro de la vivienda, el poder aportar soluciones que distinguan a la promotora de sus competidoras se hace totalmente necesario.

Se abre a las ingenierías y las instaladoras un nuevo mercado en el que la base es aportar valor innovando. Con soluciones que hasta hace poco tiempo no eran tenidas en cuenta por motivos técnicos, legales o de mercado y que ahora pueden ser un diferencial que aporte un importante valor añadido frente a la competencia que sigue con instalaciones tradicionales.

Hace 5 años las instalaciones con aerotermia centralizada no eran una opción, hoy los principales edificios que se rehabilitan en los centros urbanos ya están proyectándola habitualmente.

Hace menos de 2 años los recuperadores de calor se percibían como una máquina que hacía ruido y que no era muy importante ya que con las construcciones tradicionales poco estancas no se requería comprobar la salubridad e higiene. Ahora con las viviendas de nueva construcción ya se considera que es un elemento imprescindible para mejorar el confort y la salubridad. Incluso en el norte se empiezan a tener problemas con la refrigeración en verano, algo impensable no hace mucho.

El siguiente paso dentro de las instalaciones en vivienda está claro que será la fotovoltaica, primero porque el Tribunal Constitucional permite desde este verano el autoconsumo compartido y luego porque la generación distribuida

aportaría una gran disminución de las pérdidas por transporte de la electricidad. Por último, la entrada del coche eléctrico será el catalizador final para una rápida implantación. Teniendo en cuenta que ciudades como Madrid, Londres y Barcelona ya están prohibiendo a medio plazo el uso de coches diésel en centro ciudad.

Además, con la fotovoltaica y la autogeneración se abre la posibilidad de los edificios de energía positiva, que en vez de consumir energía entregan energía a la red. Ejemplo de esto es el edificio Helitrope en Friburgo (Alemania) que se construyó en 1994 y que genera 3 veces más energía que la que consume.

Luego la tecnología existe y es fiable, no es una quimera. El coste inicial es siempre superior, pero también lo es el valor percibido del producto por el cliente. En una economía en la que siempre existirá alguien que lo haga más barato, el poder hacer instalaciones diferentes también resulta una oportunidad para la ingeniería, solo aumentando la percepción de valor puede dársele menos importancia al precio.

# ACS CON SOLAR TÉRMICA EN NZEBs: FUENTE INAGOTABLE, CONSUMO NULO Y CERO EMISIONES

**Pascual Polo**, Secretario General, ASIT (Asociación Solar de la Industria Térmica)

**Resumen:** El concepto de edificio de consumo casi cero implica proyectar estos teniendo en cuenta aspectos de ahorro energético, junto con la integración de energías renovables. Respecto al primer aspecto, la reducción de consumo del propio edificio se puede lograr teniendo en cuenta aspectos arquitectónicos (aislamientos, orientación del edificio, etc.) cosa que implicaría reducciones de consumos tanto en climatización como en iluminación. Sin embargo, no se pueden llevar a cabo acciones efectivas para conseguir la reducción de los consumos de agua caliente sanitaria, esto significa que el consumo energético del edificio para la generación de ACS va a pasar a ser uno de los mayores, sino el mayor, en los edificios del futuro. La inclusión de la energía solar térmica va a resultar fundamental para conseguir que realmente los consumos energéticos sean casi nulos, dado que se trata de una energía gratuita e inagotable, siendo, además, España un país privilegiado en este aspecto por la elevada radiación solar que recibe. Se trata de una tecnología más que madura, en la que existe una gran experiencia tanto por parte de los proyectistas como por parte de los instaladores, con fabricantes que han desarrollado equipos que hacen las instalaciones cada vez más fiables.

**Palabras clave:** Consumo de Energía Casi Cero, Agua Caliente Sanitaria, Energía Solar Térmica, Energías Renovables

## INTRODUCCIÓN

La energía requerida para el agua caliente sanitaria en los edificios de consumo casi cero significa un porcentaje muy elevado del consumo total del edificio, básicamente porque no es posible llevar a cabo acciones que hagan disminuir el número de litros de agua que los usuarios de estos edificios requieren en su vida diaria.

La disminución del consumo energético pasa por utilizar equipos de producción y acumulación más eficientes, sin embargo los ahorros energéticos que se derivan de su uso no son suficientes para obtener una disminución efectiva que haga que su influencia en el total de energía consumida por el edificio deje de ser tan elevada. Así pues, se hace necesario el uso de energías renovables para paliar este efecto, y en este sentido el uso de la Energía Solar Térmica se muestra como la energía renovable más efectiva para la generación de agua caliente sanitaria, teniendo en cuenta, además que España es un país con una radiación solar anual muy elevada.

## CÓMPUTO DE LA ENERGÍA REQUERIDA PARA LA GENERACIÓN DE ACS EN UN EDIFICIO

Para explicar la influencia que tiene la energía requerida para la producción del agua caliente sanitaria se va a usar un ejemplo de un edificio de viviendas.

- Edificio de 18 viviendas de 3 dormitorios
- Ubicación: Ciudad Real
- Superficie acondicionada 1750 m<sup>2</sup>
- Ventilación con recuperación
- Características de la envolvente: K = 0,6

$$Q_{sol;jul}/A_{util} = 1,05$$

En la tabla posterior se indican los datos relativos a la energía requerida por el edificio para cada uno de los servicios.

Servicio	Energía (kWh/m <sup>2</sup> año)	Influencia (%)
Calefacción	11,25	27,4
Refrigeración	9,03	22,0
Agua Caliente Sanitaria	20,74	50,6
Total	41,02	100,0

Tabla I. Necesidades de energía del edificio del ejemplo.

Pensando en que se utilice como equipo generador de calor y frío una bomba de calor aerotérmica cuyos rendimientos sean:

- COP estacional en calefacción 3,50
- EER estacional en refrigeración 2,50
- COP estacional en ACS 2,50
- Factor de paso de energía primaria no renovable 1,954

Se obtienen los siguientes resultados en base a energía primaria no renovable:

Servicio	Energía eléctrica (kWh/m <sup>2</sup> año)	Energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> año)	Influencia (%)
Calefacción	3,21	6,28	21,3
Refrigeración	3,61	7,06	23,9
Agua Caliente Sanitaria	8,30	16,21	54,9
Total	15,12	29,55	100,0

Tabla II. Necesidades de energía primaria no renovable del edificio del ejemplo.

Como se puede ver en la tabla, la influencia en el global energético del edificio del agua caliente sanitaria supone más de un 50%, lo que significa que se hace obligatorio realizar alguna acción para disminuir el consumo de energía primaria en este, para conseguir que sea considerado como un edificio de consumo casi nulo.

## Reducción del consumo de energía primaria del edificio, utilizando Energía Solar Térmica para el consumo de ACS

Se va a considerar que en el edificio del ejemplo se monta una instalación de energía solar térmica que aporta un 60% de la energía requerida para el calentamiento del ACS. Esto supone un ahorro directo de energía primaria del mismo porcentaje, y una disminución efectiva de energía primaria total de un 33%.

Servicio	Energía primaria (kWh/m <sup>2</sup> año)	Influencia (%)
Calefacción	6,28	31,7
Refrigeración	7,06	35,6
Agua Caliente Sanitaria	6,48	32,7
Total	19,82	100,0

Tabla III. Necesidades de energía primaria no renovable del edificio considerando un 60% de aporte de Energía Solar Térmica en la producción de ACS.

## EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EXISTENTE EN UNA RESIDENCIA GERIÁTRICA

Existen en España una gran cantidad de instalaciones de energía solar térmica destinadas al calentamiento de ACS y a otras aplicaciones, como calentamiento de piscinas, calefacción e incluso para aplicaciones industriales. Concretamente se contabilizan más de 4.000.000 de metros cuadrados, que aportan anualmente más de 5.840.000 kWh.

En este caso, vamos a analizar una instalación existente en una residencia geriátrica en Arganda del Rey, en la provincia de Madrid, con 500 camas. En su momento se llevó una remodelación total del edificio en la que se incluyó la instalación de calefacción y la de agua caliente sanitaria. Pasando de una instalación de calderas de gasóleo a una instalación de calderas de gas de condensación y captadores solares térmicos.



Figura 1. Situación original y actual de la instalación.

## Instalación de Energía Solar Térmica en el Edificio

Como se ha explicado anteriormente la demanda energética del agua caliente sanitaria se cubría mediante el uso de calderas de gasóleo, lo que suponía un elevado coste para la propiedad. Para poder reducir estos costes se planteó una instalación de energía solar térmica, que suponía darle uso a la cubierta del edificio que no estaba siendo utilizada.

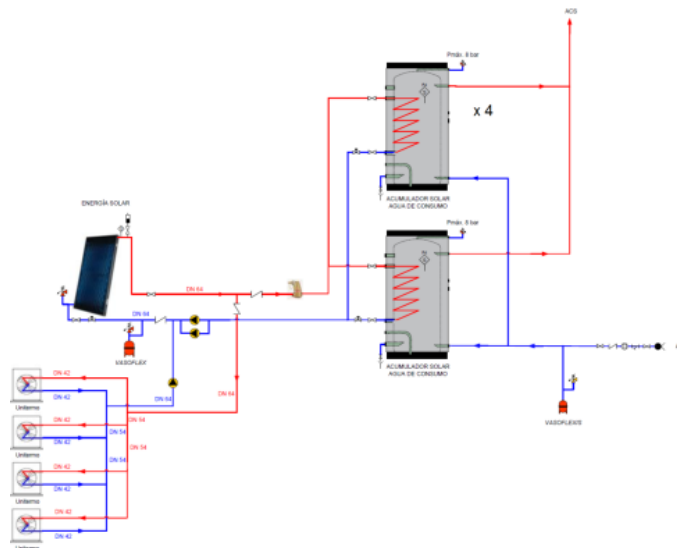


Figura 2. Esquema de principio de la instalación.

Finalmente, se instalaron 112 captadores solares del modelo Sol 250 de la marca BAXI, que suponen un área total de 265 m<sup>2</sup>, junto con 5 depósitos de 4.000 litros, en este caso, del modelo AS 4000-1E de la misma marca.

### Aspectos de instalación y montaje

La instalación de los captadores solares, implica disponer de una cubierta adecuada que permita disponer del espacio necesario, de la orientación adecuada, así como de una construcción adecuada que soporte el peso de los captadores.

En este caso, como se ha apuntado anteriormente, el edificio contaba con una cubierta superior que no estaba siendo utilizada. La posición de la cubierta era perfecta, estaba orientada al Sur, con lo que permitía maximizar el rendimiento de la instalación. Sin embargo, contaba con múltiples chimeneas que limitaban el número de captadores, tanto por razones de espacio como por razones de sombras. En este caso, se procedió a una repartición de los captadores en cubierta lo más homogénea posible, con filas de 4 y 8 captadores. Para conseguir un equilibrado hidráulico perfecto,

se instalaron válvulas de equilibrado hidráulico en cada fila, consiguiendo que pase el caudal adecuado por cada uno de los captadores.



Figura 3. Instalación de los captadores solares en la cubierta.

El otro aspecto que se tuvo que tener en cuenta fue el que tenía que ver con el propio peso de los captadores. La cubierta era ligera, con lo que no soportaba el peso de los captadores. Para solucionar este aspecto se construyó una estructura metálica que apoyaba sobre los puntos de carga del edificio. La solución fue simple y no supuso un coste demasiado elevado.



Figura 4. Estructura metálica de soportación.

El montaje de los captadores en cubierta no conllevó una complejidad excesiva, y permitió además disminuir el aporte de radiación solar que edificio recibía en su cubierta, además de protegerlo del frío. Así se incrementó la eficiencia del propio edificio, consiguiendo disminuir las necesidades tanto de refrigeración como de calefacción.

**Datos de consumo energético de Agua Caliente Sanitaria. Comparativa situación original y actual**

El estudio energético comparativo que se puede ver a continuación deriva del consumo energético real para la preparación del agua caliente sanitaria del edificio en la situación original, y cuál ha sido este tras los cambios implementados después de un año de funcionamiento.

En las siguientes tablas se pueden ver los datos energéticos:

Necesidades energéticas (kWh)	Consumo de gasóleo (kWh)	Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)
432.716	540.895	637.715	168.218

Tabla IV. Necesidades de energía primaria de la instalación original.

Necesidades energéticas (kWh)	Aporte solar (kWh)	Aporte solar (%)	Ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)
432.716	232.483	53,73	65.095

Tabla V. Aporte Solar Térmica en la instalación actual.

Necesidades energéticas (kWh)	Consumo de gas (kWh)	Consumo de energía primaria no renovable (kWh)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)
200.233	222.481	264.752	56.065

Tabla VI. Necesidades de energía primaria de la instalación actual.

Finalmente, la instalación Solar Térmica produjo durante el primer año el 53,73% de la energía requerida para el ACS, lo que implicó una reducción de consumo de energía primaria no renovable de 307.394 kWh/año.

## CONCLUSIONES

- En los edificios de consumo de energía casi nulo, se van a tener que llevar a cabo acciones para minimizar el consumo energético del servicio de agua caliente sanitaria, y estas siempre pasan por la implementación de energías renovables, dado que el confort de los usuarios requiere de un volumen de agua caliente sanitaria que no es posible disminuir.
- A nivel de energías renovables la solar térmica es la más efectiva para conseguir ahorros en la generación de ACS, teniendo en cuenta sobretodo que España dispone de una radiación solar anual muy elevada.
- La madurez de la tecnología de la solar térmica es muy alta, dada la gran cantidad de instalaciones que se han llevado a cabo, sobretodo en la última década. Esto significa que la experiencia tanto en la proyección como en la ejecución de las instalaciones, hace que estas se lleven a cabo de manera eficiente, con soluciones óptimas en cada uno de los proyectos.
- La experiencia de las muchas instalaciones existentes, nos muestra que los ahorros que se obtienen en la preparación de ACS son muy elevados, siendo en la mayoría de los casos superiores al 50%. Estos ahorros van a contribuir fundamentalmente en el edificio para que pueda este considerarse como edificio de consumo casi nulo.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos del ejemplo que se ha utilizado en esta comunicación han sido proporcionados por la empresa BAXI, extraídos de la instalación llevada a cabo en una residencia geriátrica de Arganda del Rey. Esta instalación continúa siendo monitorizada para controlar que la instalación funciona correctamente, así como para analizar los aspectos de posibles mejoras de funcionamiento.

## REFERENCIAS

- Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España (IDAE, 2016).
- Software de cálculo de energía primaria EPBD (Ministerio de Fomento).
- Información relativa a datos de mercado de solar térmica extraídos de la web de ASIT ([www.asit-solar.com](http://www.asit-solar.com)).

## TRIODOS BANK Y ECOOO, AFIANZAN SU COLABORACIÓN PARA PROMOVER EL AUTOCONSUMO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

**Héctor Pastor**, Departamento Técnico, ecooo revolución solar

**Resumen:** De la colaboración entre Triodos Bank y Ecooo, nace el proyecto Oleada Solar. Surge en el año 2017 la primera compra colectiva y participativa de instalaciones solares fotovoltaicas para autoconsumo con valores de economía social y solidaria. Se pretende a su vez extender esta iniciativa a organizaciones con consumos más elevados que los residenciales. Como ejemplo, Triodos Bank se ha comprometido a realizar una instalación a través de Ecooo, de 40,56 kW fotovoltaicos de autoconsumo en cubierta en su sede central de España distribuidos en dos edificios, una instalación de 24,65 kWp y otra de 15,91 kWp.

**Palabras clave:** Transición Energética, Autoconsumo Fotovoltaico, Generación Distribuida, Compra Colectiva

### INTRODUCCIÓN

De la colaboración entre Triodos Bank y Ecooo, nace el proyecto Oleada Solar. Surge en el año 2017 la primera compra colectiva y participativa de instalaciones solares fotovoltaicas para autoconsumo con valores de economía social y solidaria. Oleada Solar, propone la compra colectiva de instalaciones fotovoltaicas en 100 hogares, lo que permitirá disfrutar de un ahorro del 30% sobre el precio final de la instalación. Las familias que así lo requieran, se les realizará un estudio de financiación para favorecer las opciones de inversión. Además, la comunidad de autoconsumidores creada en Oleada Solar, decidirá de manera colectiva la ubicación de un generador solidario entre diferentes entidades sin ánimo de lucro.

Según los datos del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, se habían registrado en los últimos 2 años, 167 instalaciones fotovoltaicas de Tipo 1 (potencia instalada inferior a 10kWp) hasta el mes de Mayo de 2017, previo al comienzo del proyecto. El reto por tanto es el de aumentar en un 67% el número de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo de potencia inferior a 10kW en todo el territorio español. Con este proyecto se pretende dar a conocer la viabilidad tanto técnica, como legal y económica que tienen este tipo de iniciativas y que tanta incertidumbre han generado en los últimos años.

Se pretende a su vez extender esta iniciativa a organizaciones con consumos más elevados que los residenciales. Como ejemplo, Triodos Bank se ha comprometido a realizar una instalación a través de Ecooo, de 40,56 kW fotovoltaicos de autoconsumo en cubierta en su sede central de España distribuidos en dos edificios, una instalación de 24,65 kWp y otra de 15,91 kWp.

### EL PROYECTO: OLEADA SOLAR

La instalación fotovoltaica estándar de Oleada Solar es de 1,5kW nominales, lo que supone un espacio ocupado de 10m<sup>2</sup>, con módulos fotovoltaicos policristalinos de 265Wp. Dependiendo de factores tales como espacio en cubierta, consumos diarios e iniciativas familiares, se han instalado potencias más elevadas tanto de 2,5, 3 y hasta 5kW.

Una vez tomada la decisión del tipo de instalación, se puede optar por obtener financiación a través de Triodods Bank, contando con unas condiciones generales, lo más beneficiosas posibles para el hogar:

- 3.000 a 50.000 €
- Plazo máximo de 7 años
- Interés fijo del 6%
- Comisión del 0,5% para la cancelación durante el primer año y del 1% el resto
- Seguro de vida

Las instalaciones se realizan valorando tres aspectos fundamentales, productividad energética, sencillez y fiabilidad en la instalación. Es el equipo de ingeniería de Ecooo, en sinergia con los hogares y familias, quienes deciden la opción más adecuada. La orientación, a ser posible Sur y la inclinación, son factores fundamentales a la hora de valorar la productividad energética, así como la ausencia de elementos singulares, tales como chimeneas, equipos de aire acondicionado o árboles. Con el ánimo de aprovechar los elementos constructivos de cada vivienda, e común la instalación de los módulos de manera coplanar (paralelos a la cubierta), asegurando en todo momento, la



estanqueidad del tejado y la fijación a de los paneles al mismo. No obstante, para inclinaciones planas, se optan por estructuras, que dotan a los paneles de la orientación e inclinación óptima.

La distribución del cableado y la ubicación de los equipos que conforman la instalación, tales como inversor, caja de conexiones o contador se determina durante la visita del equipo técnico e instalador autorizado a la vivienda, reduciendo al máximo el impacto visual y las tareas de obra civil en caso necesario. El instalador que acude en esta primera visita, será posteriormente el encargado de realizar la instalación y puesta en marcha, agilizando así el proceso y reduciendo los tiempos al máximo posible.

Para finalizar el proceso, Ecooo se encarga de la tramitación administrativa para legalizar la instalación e inscribirla en el registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica, ahorrando cualquier tipo de trámite al usuario.

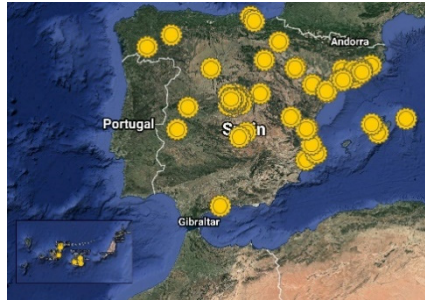


Figura 1. Mapa con los hogares que forman parte de la Oleada Solar.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Ecooo ha creado una metodología propia y única para el proyecto de Oleada Solar, que le permite la mejora continua de procesos, así como la reducción de costes, tiempos y riesgos. En el siguiente diagrama de flujo, se puede observar de manera resumida, las etapas que conforman el proyecto de Oleada Solar.

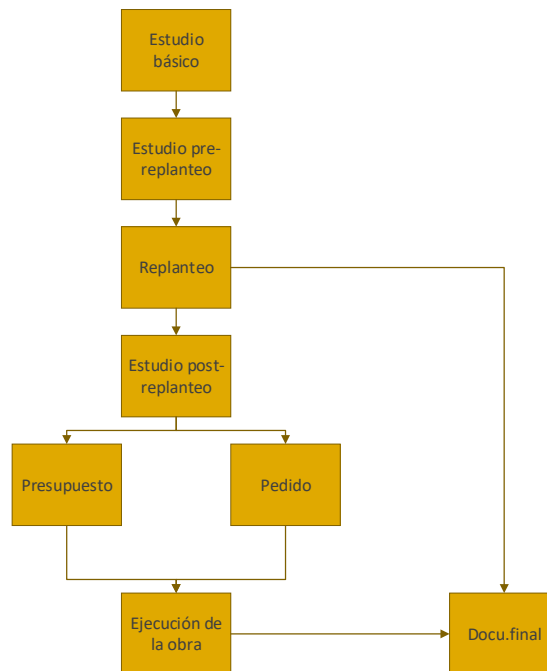


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico de Oleada Solar.

## RESULTADOS

### Ejemplo práctico. Instalación de 1,5 kW con financiación de Triodos Bank

Se muestra a continuación una instalación estándar del proyecto Oleada Solar. La instalación se conforma de 6 paneles fotovoltaicos policristalinos de 265Wp, obteniendo una potencia total instalada de 1.590 Wp. La conversión de energía la realiza un inversor monofásico con seguimiento del punto de máxima potencia de 1,5 kW. El resto de la instalación lo conforma el cableado y las protecciones necesarias para realizar este tipo de instalaciones de autoconsumo. Un elemento también fundamental, es el contador bidireccional instalado en el punto frontera, para cumplir con la legislación vigente.

#### *Simulación 3D de la vivienda para conocer la distribución de los paneles fotovoltaicos*

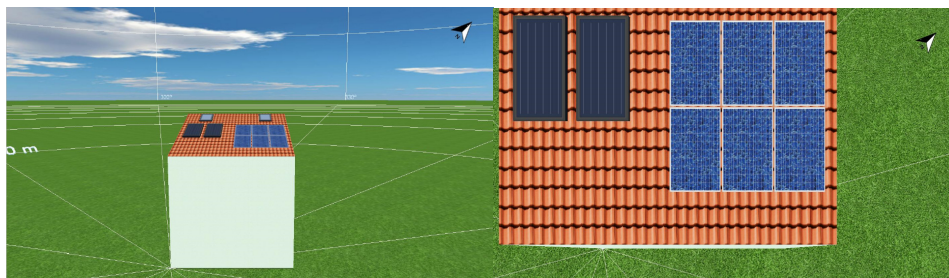


Figura 3. Simulación en 3D de la vivienda.

Se observa en la figura anterior, la existencia de dos captadores solares térmicos, que se han tenido en cuenta para la disposición definitiva de los paneles fotovoltaicos, evitando las sombras y dejando espacio suficiente para el proceso de instalación y posterior mantenimiento. Los elementos fundamentales a tener en cuenta en el proceso de instalación son los siguientes:

#### **Principales elementos a tener en cuenta durante la instalación**

Armario del módulo de medida fotovoltaica, se realizará junto al armario de medida de la compañía eléctrica en la fachada del inmueble, generando una longitud de cable de 25m dentro de tubo corrugado.

Inversor fotovoltaico se instalará en la primera planta, en la pared vertical más próxima a la bajante (aprovechando el hueco de la chimenea), minimizando en la medida de lo posible la tirada de cable en corriente continua. La longitud de cable serán 25m.

Paneles y anclaje sobre estructura metálica coplanar existente. Anclaje de tornillos sobre el metal según figura siguiente.

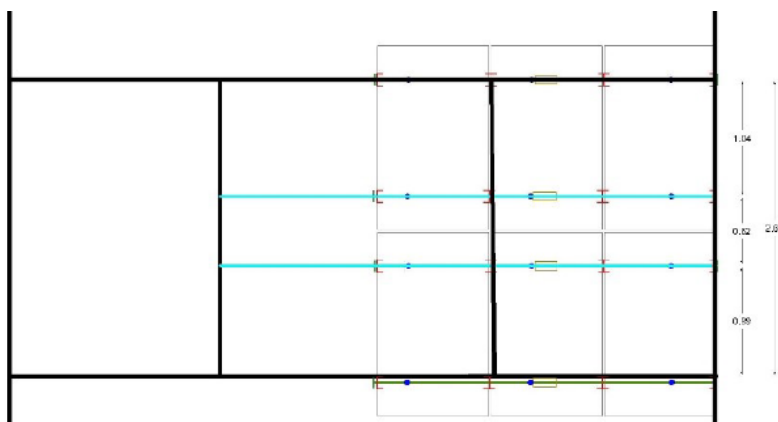


Figura 4. Plano de la estructura metálica de soporte de la instalación de 1.59kWp.

**Evaluación de la producción energética de la instalación**

Una vez introducido en el simulador la ubicación y las características de la instalación, los resultados obtenidos, son los siguientes:

Parámetros simulados	Resultados de simulación
Potencia del generador FV	1,59 kWp
Rendimiento anual esperado	1.386 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación	85,8%
Energía del generador fotovoltaico	2.205 kWh/año
Proporción del consumo propio	46,8%
Emisiones de CO2 evitadas	1.323 kg/año
Consumo	2.698 kWh/año
Fracción de cobertura solar	38,1 %

Tabla 1. Evaluación de la instalación fotovoltaica bajo los parámetros fundamentales de simulación.

Se observa que la calidad de la generación fotovoltaica es óptima, dada la correcta orientación e inclinación, así como la ausencia de elementos de sombreado y la reducción de pérdidas en el cableado. Se obtiene un rendimiento de la instalación del 85,8% con una producción de 1.86 kWh/kWp, lo que supone un valor adecuado para instalaciones ubicadas en la Península. Con una producción de 2.205 kWh/año y teniendo en cuenta el perfil de consumo de la vivienda de estudio, se estima que el 46,8% de la producción irá destinada exclusivamente al consumo propio, generando ahorros en la factura eléctrica. Estos ahorros, se verán representados por el 38,1% de cobertura solar, que corresponde a la cantidad de energía consumida que es suplida por la instalación fotovoltaica propiedad de la familia.

Este porcentaje cercano al 40% es la media anual, disponiendo obviamente de mayor % durante los meses estivales (50%) y como peor mes del año, el mes de Enero (24%) tal y como se observa en la siguiente Figura.

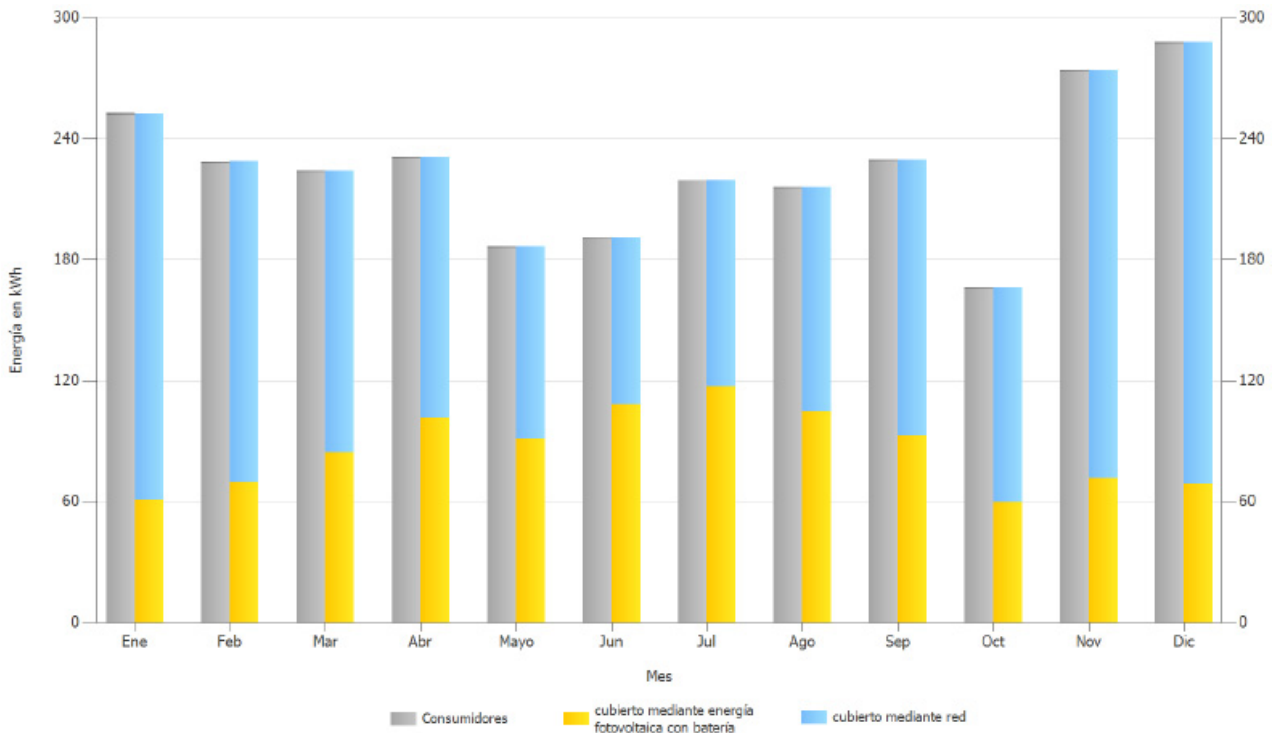


Figura 5. Proporción del consumo (gris) satisfecho por la instalación fotovoltaica (amarillo) y por el suministro de la red (azul).

## EJEMPLO PRÁCTICO: INSTALACIÓN DE 40,56 KWP EN LA SEDE DE TRIODOS BANK

La sede de Triodos Bank, conformada por dos edificios con cubierta plana, ofrece la posibilidad de realizar dos instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Uno de los edificios (Edificio A), con menor superficie útil dispondrá de 15,91 kWp, mientras que el otro edificio (Edificio B) con mayor superficie se instalará 24,65 kWp. En total, 153 paneles fotovoltaicos que ocuparán una superficie de 248m<sup>2</sup>.

### Simulación 3D de los edificios para conocer la distribución de los paneles fotovoltaicos

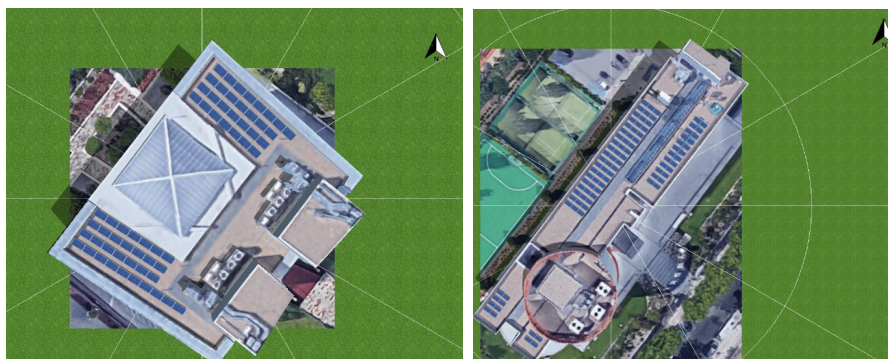


Figura 6. Distribución de los módulos fotovoltaicos en el Edificio A (izquierda) y el Edificio B (derecha).

Para conocer la potencia nominal de ambas instalaciones, en el Edificio A se instalará un inversor de 8kW y otro de 7kW, ambos trifásicos que aportarán 15 kW. El edificio B dispondrá de 3 inversores trifásicos de 8 kW, que supondrá un aporte al consumo propio del inmueble de 24kW.

### Evaluación de la producción energética de la instalación

Una vez introducido en el simulador la ubicación y las características de la instalación, los resultados obtenidos, son los siguientes:

Parámetros simulados	Resultados de simulación Edificio A	Resultados de simulación Edificio B
Potencia del generador FV	15,9 kWp	24,7 kWp
Rendimiento anual esperado	1.254 kWh/kWp	1.255 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación	77,5%	77,3%
Energía del generador fotovoltaico	19.957 kWh/año	30.954 kWh/año
Proporción del consumo propio	100%	100%
Emisiones de CO2 evitadas	11.974 kg/año	18.573 kg/año
Consumo	291.586 kWh/año	
Fracción de cobertura solar	6,8%	10,6%

Tabla II. Resultados de simulación en los dos edificios.

En ambos casos, los rendimientos no son tan buenos como en el caso de la vivienda. Esto se debe a los elementos singulares de un edificio de tamaño grande que provocan algunas sombras. Sin embargo, se consigue disponer de unos valores elevados, en torno al 77%. Dado el consumo tan elevado y el perfil de un edificio de oficinas, adaptable perfectamente a la curva de generación solar, el autoconsumo obtenido es del 100%, redundando en unos ahorros energéticos entre el 6,8 y el 10,6% para cada uno de los edificios respectivamente.

El aporte en el ahorro de emisiones, teniendo en cuenta una vida útil de la instalación en torno a los 25 años, estaría en torno a las 760 tCO<sub>2</sub>.

# DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA INTELIGENTE DE DIMENSIONADO Y DISEÑO DE INSTALACIONES MULTIGENERACIÓN PIDIM PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

**José Sánchez Ramos**, Grupo Termotecnia, Escuela Superior Ingenieros, Universidad Sevilla  
**Silvia Sanjoaquín Vives**, Innovación Eficiencia Energética y Movilidad, Gas Natural Fenosa  
**M. Carmen Guerrero Delgado**, Grupo Termotecnia, Escuela Superior Ingenieros, Universidad Sevilla  
**Francisco José Sánchez de la Flor**, Grupo Termotecnia, Escuela Superior Ingeniería, Universidad Cádiz  
**Servando Álvarez Domínguez**, Grupo Termotecnia, Escuela Superior Ingenieros, Universidad Sevilla  
**José Luis Molina Félix**, Grupo Termotecnia, Escuela Superior Ingenieros, Universidad Sevilla  
**Alejandra Sayans Jiménez**, Innovación Eficiencia Energética y Movilidad, Gas Natural Fenosa  
**Francisco García-Luengo Machado**, Innovación Eficiencia Energética y Movilidad, Gas Natural Fenosa

**Resumen:** La obtención de edificios de balance energético casi nulo, tras una buena rehabilitación energética, pasa por disponer de sistemas eficientes e inteligentes y la fuerte integración de energías renovables y sistemas de almacenamiento. El proyecto PIDIM desarrolla una plataforma de diseño de instalaciones de generación distribuida de electricidad, calor y frío de alta eficiencia y/o elevado aporte de energías renovables. Los principales puntos diferenciales de la plataforma son la caracterización del edificio/s y sus instalaciones a partir del análisis de datos medidos y la simulación de las diferentes soluciones considerando en la modelización una extensa base de datos de fabricantes. Es decir, la plataforma considera en la simulación las necesidades reales y el comportamiento del usuario, así como también la oferta real de soluciones que se distribuyen en España.

**Palabras clave:** Generación Distribuida, Energías Renovables, Balance Energético Nulo, Evaluación Energética a partir de Medidas

## INTRODUCCIÓN

La rehabilitación energética de edificios es clave para la consecución de los objetivos energéticos fijados para el sector de la edificación, ya que la mayoría del parque inmobiliario son edificios existentes. Por eso, las políticas asociadas a la rehabilitación energética de edificios van a evolucionar significativamente en los próximos años (Lund et al., 2014; B.V. Mathiesen et al., 2015; Brian Vad Mathiesen, Lund, & Karlsson, 2011), siendo necesario ofrecer en el mercado soluciones complejas integrales que tengan en cuenta no sólo las actuaciones de mejora de la eficiencia, tanto pasivas (mejora envolvente) como activas (mejora equipamientos) sino también la integración de energías renovables junto con almacenamiento energético en el edificio.

Por otro lado, el uso de sistemas de monitorización y control por parte del usuario final es clave para asegurar la eficiencia de las medidas implantadas y facilitar el autoconsumo de energías renovables, ya que permite que el usuario puede tomar decisiones adecuadas en base a la información y que, además, dicha información pueda ser utilizada para analizar posibles ineficiencias y mejoras necesarias. Esto es así porque el resultado final tiene que ser la compensación necesaria de efectos para generar el balance nulo buscado (Kylili & Fokaides, 2015; López et al., 2015; Scognamiglio, Adinolfi, Graditi, & Saretta, 2014).

Cabe destacar que se espera la aparición de nuevas demandas en los edificios, como puede ser la demanda de electricidad asociada a vehículo eléctrico, por lo que se necesitan herramientas que puedan estimar de manera global las necesidades energéticas, para poder diseñar correctamente las soluciones más adecuadas para la rehabilitación de los edificios.

La figura de las empresas de servicios energéticos es de gran relevancia para la evolución de los edificios existentes a edificios de energía casi nula, ya que se tratan de intervenciones de elevada complejidad técnica y las inversiones asociadas son elevadas. El modelo de servicios energéticos permite que la financiación no sea hecha directamente por el propietario o usuario del edificio, y que el retorno de las inversiones sea hecho a través de la factura energética durante la duración del contrato. Este modelo, además, permite ofrecer garantía de ahorros energéticos.

Teniendo en cuenta este contexto, se presenta una oportunidad para el desarrollo de una nueva solución que sea capaz de conocer al consumidor en condiciones reales medidas, y proporcionarle una solución óptima de mejora de eficiencia y generación distribuida para su edificio. Esta generación no solo debe acometer la demanda de electricidad,

sino que también debe generar calor y frío, junto con la integración de las tecnologías existentes en la instalación. Todo ello maximizando el uso de recursos renovables gestionados a partir de la existencia de almacenamiento térmico y eléctrico.

## PLATAFORMA PIDIM

La solución propuesta es una plataforma informática sobre la nube que recibiendo datos como el consumo del cliente (edificio o conjunto de edificios, restricciones técnicas/económicas, datos climáticos y los datos históricos de consumo, ya sea procedente de facturas o demonitorización, permitirá:

- **Diseño y dimensionado** de instalaciones de generación distribuida de electricidad, calor y frío: a partir de un catálogo de modelos para las diferentes tecnologías.
- **Anteproyecto básico:** esquemas de principios, presupuesto y mediciones orientativas.
- **Módulo M&V:** obtener la línea base y patrones de consumo del cliente y, a partir de ellos, caracterizar el comportamiento energético del edificio. Medición y evaluación del ahorro energético.
- **Módulo de replicabilidad:** disponer de una base de conocimiento que permita tomar decisiones in situ sobre el potencial y la viabilidad de intervenciones en nuevos proyectos.

Por tanto, la plataforma inteligente proporciona soluciones automáticas en las dos etapas. La fase I de diagnóstico, montaje del sistema de gestión energética, toma de decisiones básicas y anteproyecto de instalaciones de multigeneración y la fase II en la que una instalación ya está en uso y se puede medir y verificar los ahorros y detectar ineficiencias, proponiendo posibles nuevas mejoras a implantar en el edificio. Esto es un aspecto innovador de esta herramienta, ya que se dispone de una única herramienta versátil que puede ser utilizada en toda la vida útil de un proyecto de rehabilitación.

En la plataforma se integrará un **Motor de Simulación** que siga los principios del **Building Information Modelling (BIM)**, que de manera resumida son: uso de ficheros de datos en formato **Industry Foundation Clases (IFC)**, interoperabilidad, es decir, posibilidad de uso con otras herramientas de entrada/salida, cálculo etc.

Estas instalaciones estarán basadas en una serie de esquemas de principio flexibles provistos de estrategias de control avanzadas definibles por el usuario del software. La herramienta presenta una cierta inteligencia para adaptarse a perfiles de usuario muy, sin necesidad de ser expertos en la gran diversidad de tecnologías de generación distribuida de calor, frío y electricidad que se pueden evaluar. La herramienta cuenta con una extensa base de datos y modelos, de manera que el usuario puede definir las instalaciones a partir de la respuesta a una serie de preguntas sencillas.

El uso del Motor de Simulación con la finalidad de diseño y dimensionado de la instalación parte de la demanda energética de un/os edificio/s, para con esta información evaluar energética y económicamente diferentes esquemas de principio de forma que se pueda dimensionar cada equipo concreto de la misma.

PIDIM permitirá caracterizar la demanda energética desglosada de calor, frío y electricidad de una gran variedad de edificios del sector terciario, en particular de hoteles, oficinas, escuelas, residencias, hospitales, centros deportivos o centros/locales comerciales y para cada uno de ellos. En el caso de que el edificio a analizar sea un nuevo cliente, la demanda energética se caracterizará a partir de un número reducido de datos y de los modelos existentes en el motor de cálculo de la herramienta. En el caso de que el edificio a analizar sea un cliente actual de servicios energéticos, la herramienta permitirá el uso de datos horarios monitorizados de la propia instalación para la caracterización de las demandas mediante los modelos disponibles en la herramienta para cada tipología de edificio.

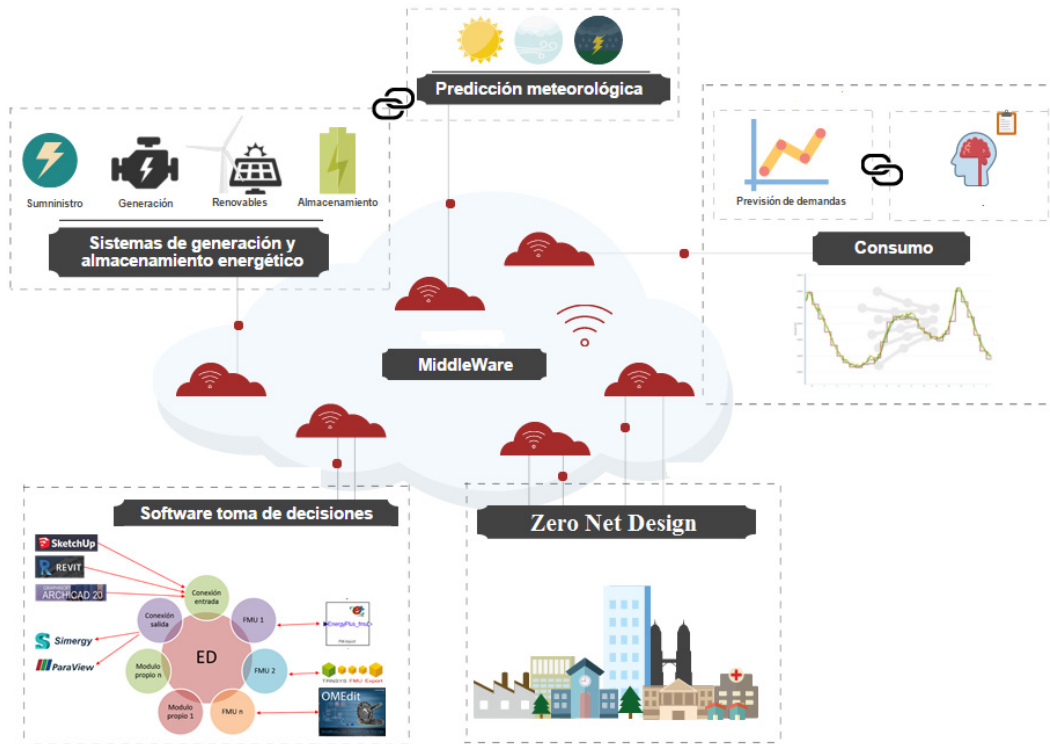


Figura 1. Croquis de la plataforma.

Una vez diseñada y dimensionada la instalación, el Motor de Simulación permitirá el análisis energético de la misma a través de simulaciones detalladas de paso de tiempo corto en régimen transitorio, tanto de las instalaciones como de los propios edificios a los que dan servicio, de manera que puedan evaluarse y optimizarse diferentes estrategias de control. Asimismo, el resultado es un dimensionado tentativo de los equipos principales de la instalación, orden de magnitud de coste y parámetros de rentabilidad relativos a la situación actual, tales como coste de ciclo de vida y periodo de amortización de la inversión

A partir de los resultados extraídos del análisis energético, el Motor de Simulación puede generar y calibrar modelos de simulación simplificados. Estos modelos de simulación simplificados generados con la propia herramienta permitirán realizar balances energéticos de la instalación a partir de datos medidos durante la operación de la instalación, lo que finalmente permite obtener el rendimiento instantáneo de la instalación y de los diferentes elementos que la componen y verificar los ahorros que origina la nueva instalación frente a la instalación inicial.

Las principales características del motor de simulación son:

- **Interoperabilidad:** capacidad de uso de programas externos para suministrar datos de entrada y para evaluar los resultados. Es decir la herramienta es autónoma y presenta un conjunto de motores de cálculo independientes (BIM).
- **Flexibilidad:** capacidad de simulación de edificio/s y sistema/s de diversos tipos (convencionales, captación solar, almacenamiento térmico, sistemas de absorción, cogeneración, etc.) integrando módulos de cálculo realizados con distintas herramientas, permitiéndose así la co-simulación.
- **Replicabilidad y facilidad de uso:** El Motor de Simulación debe permitir la integración de módulos de cálculo propios y externos (FMU) de manera fácil. Para ello El Motor de Simulación cuenta con un Editor de Conexiones que será una herramienta adicional, de ayuda al usuario, que sirve para generar/modificar el fichero IDF/ODF (archivos de entrada y salida de EnergyPlus) escribiendo la información acerca de las variables que son de salida de un cierto FMU y entrada a otro, o a módulos de cálculo integrados al Motor de Simulación.

- **Rapidez de cálculo (generación/calibración de modelos simplificados):** Los principales módulos de cálculo del programa cuenta con una versión detallada y otra simplificada. Esta última se calibrará inicialmente para que en tiempo real pueda usarse dando una respuesta rápida y suficientemente precisa. De tal forma que la herramienta permita integrar todas las fases del proyecto: básico, ejecución y seguimiento/verificación.

## RESULTADOS: MODELADO DE EQUIPOS Y CARACTERIZACIÓN DE FABRICANTES

El catálogo de equipos para instalaciones de multigeneración ha sido diseñado analizando el nivel de desarrollo actual y la situación de mercado de las diferentes tecnologías, así como las tecnologías de interés para Edificios de Energía Casi Nula, pues a partir de 2020 cualquier edificio de nueva construcción deberá cumplir este estándar. El catálogo de tecnologías seleccionado es muy amplio e incluye las siguientes tecnologías: solar térmica de baja y media temperatura, energías renovables para producción de electricidad, fotovoltaica y minieólica, cogeneración con motores, microturbinas, ORC y pilas de combustible, calderas a gas y de biomasa, bombas de calor con y sin recuperación de calor, incluyendo también bombas de calor por ciclo de absorción y adsorción, sistemas de almacenamiento eléctrico y térmico y sistemas de disipación de calor.

Este catálogo queda plasmado en una base de datos con más de 3.000 equipos de fabricantes y distribuidores. Muchos de ellos han colaborado directamente en la generación de la base de datos aportando datos experimentales de la operación de sus equipos. A partir de los equipos con datos experimentales se han validado/creado modelos de simulación capaces de ser calibrados para otros equipos con menor número de datos; y reglas para la obtención de los parámetros internos de los equipos necesarios para su simulación.

Los modelos se basan en modelos mixtos (grey model) que incluyen, por un lado, el modelado físico de sistemas desarrollado por el Centro Tecnológico y, por el otro, el modelado matemático a partir de datos existentes de instalaciones. Esta es otra de las características innovadoras de la herramienta, ya que habitualmente las herramientas suelen basarse o bien en un modelado físico o bien en un modelado matemático a partir de técnicas de minería de datos.

A modo de ejemplo, si se analiza el caso de las máquinas de absorción, se ha modelado la máquina de absorción como caja gris, en la que sólo se conocen las entradas/salidas de la misma, además de una variable interna, la temperatura del generador. Esta temperatura es un dato proporcionado por la máquina de absorción en cada instante de tiempo y cuyo valor condiciona el comportamiento de la máquina. Tras el análisis de la información disponible en catálogos se decide simplificar el comportamiento de la máquina en tres modos de funcionamiento:

- **Modo 1) Arranque:** en este modo el fluido caloportador caliente entra en el generador aumentando la temperatura del generador. Sin embargo, esta temperatura no es suficiente para que la máquina de absorción comience su funcionamiento, por lo que el fluido caliente que entra en el generador se enfría para aumentar la temperatura del generador sin que se produzca salida de agua fría en el evaporador.
- **Modo 2) Régimen:** este modo corresponde al funcionamiento de la máquina de absorción una vez la máquina está a régimen.
- **Modo 3) Parada:** este modo corresponde al funcionamiento justo después de la parada de la máquina de absorción debido al efecto de dilución. Tras apagar la máquina, el generador se enfría poco a poco, pero el evaporador sigue produciendo agua fría aunque no a la temperatura nominal. Este modo se compondrá de una segunda etapa en la que ya habiendo dejado de producir frío y con todas las bombas apagadas, la máquina se enfría hasta la temperatura ambiente debido a las pérdidas a través de la carcasa.

Este modo de operación 1 es el mantenido por la máquina mientras su señal de control sea de encendido y la temperatura del generador en el paso de simulación anterior sea inferior a la temperatura de arranque. Se ha considerado que la temperatura de arranque está situada en el punto medio entre la temperatura nominal de operación del generador y la mínima con la que es posible su operación. Del balance de energía en el evaporador, y como consecuencia de la potencia nula del evaporador en el modo "arranque" la temperatura de entrada al evaporador será igual a la temperatura de salida. Se asume que durante este periodo no entra agua al evaporador, solo funciona el lazo de generador y condensación.

El algoritmo de esta unidad (filosofía idéntica al resto de unidades), muestra cómo a partir de esta temperatura se calcula el calor almacenado en la máquina durante su calentamiento, el calor disipado en el condensador y el consumo de combustible. Cabe destacar que el consumo de combustible se calcula haciendo la hipótesis de que el factor de



carga parcial en arranque se puede obtener considerando efecto útil la energía aprovechada para el calentamiento de la masa térmica del equipo; y por tanto, ejecutando la curva correspondiente se puede calcular el consumo de calor requerido (véase modo 2 para comprender la ejecución de las curvas). En el caso ejemplo, la constante de tiempo de la MADE toma un valor de 40min (equipo BROAD modelo BYZ). Lo que significa que si el paso de simulación es horario la máquina pasa de estar apagada en el instante  $t$  a estar a régimen en el instante  $t+1h$ . Sin embargo, para demostrar la capacidad dinámica del modelo se toma un paso de simulación de 10min y se muestra abajo los resultados.

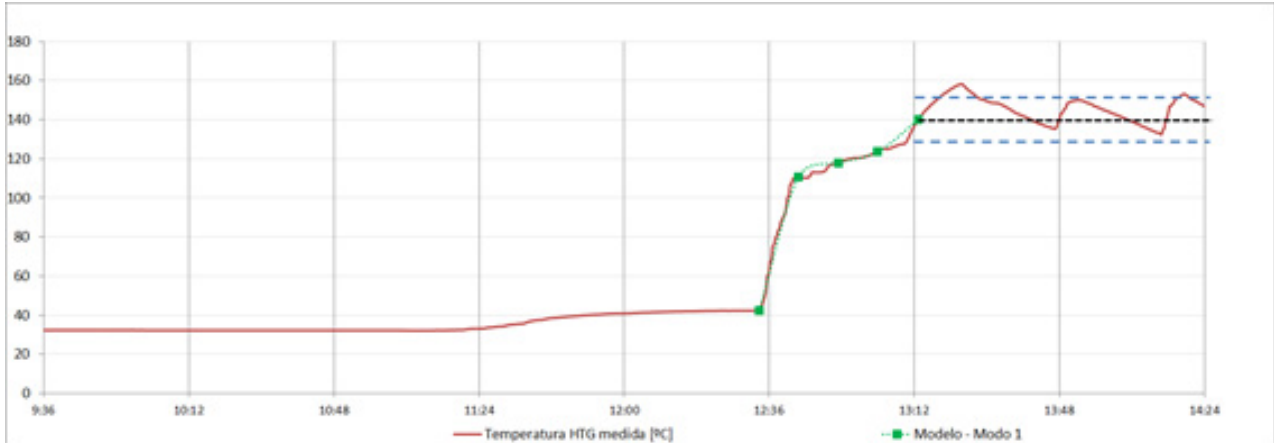


Figura 2. Datos medidos modo 1 y transición al modo 2 (rojo) vs modelo (verde).

En la gráfica se muestra el modo 1 hasta que la temperatura del generador alcanza la nominal de trabajo, en ese momento el modelo toma constante la temperatura del generador y realiza la simulación mediante curvas de operación. Estas curvas de operación son obtenidas a partir de la identificación de funciones matemáticas usando los datos experimentales facilitados por el fabricante.

Finalmente, cuando el modelo recibe la señal de apagado, se activa el modo 3 con una formulación equivalente a la del modo 1. En conclusión, el algoritmo propuesto permite tener en cuenta el régimen transitorio de los equipos de manera simplificada, contabilizar los ciclos de puesta a régimen de los equipos para aplicaciones de gestión energética (mantenimiento preventivo, durabilidad, toma de decisiones); y sobre todo permite ser calibrado con los datos aportados por los fabricante lo que garantiza una simulación en unas condiciones más cercanas a los equipos que se pueden comprar (ventajas y desventajas de cada equipo, tecnologías, marca, etc.).

## CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra los avances en el desarrollo de la plataforma PIDIM. Esta plataforma está en fase de desarrollo y testeo en una muestra de edificios terciarios significativos. Asimismo, comenzará a ser explotada en 2018.

La plataforma es en sí una metodología de obtención de edificios de balance energético nulo siguiendo las recomendaciones de la norma **ISO 52000-1:2017** "Energy performance of buildings -- Overarching EPB assessment -- Part 1: General framework and procedures". Por este motivo la herramienta, de manera automática, calcula la instalación óptima (económica y energética) para integrar la nueva instalación de multigeneración y la instalación existente. Sin embargo, este resultado lo elabora a partir de la información básica del edificio y de datos medidos, por lo que se obtiene una solución a la carta que posteriormente es verificada tras la implantación a partir de monitorización energética. Esta inteligencia la hace versátil ante cualquier tipo de usuario, lo que le confiere un alto grado de innovación.

En el presente trabajo han colaborado multitud de fabricantes y distribuidores de elementos convencionales e innovadores como microturbinas, minieólica, máquinas de adsorción, ORC, baterías etc... aportando datos experimentales para la definición de modelos que permitan caracterizar hasta el transitorio de las máquinas. Estos modelos tienen en cuenta los arranques, paradas y cambios de régimen de las máquinas; debido a la sensibilidad de

los elementos innovadores ante estas variables. Es por este motivo que los modelos integrados, el motor de cálculo y el resto de herramientas acopladas se pueden situar en el máximo nivel de estado del arte actual.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto de innovación PIDIM “Plataforma Inteligente de Dimensionado y Diseño de instalaciones de Multigeneración” financiado por la Corporación Tecnológica Andaluza (CTA).

## REFERENCIAS

- Kylili, A., & Fokaides, P. A. (2015). European Smart Cities: The Role of Zero Energy Buildings. *Sustainable Cities and Society*, 15, 86–95. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.003>
- López, G., Custodio, V., Moreno, J. I., Sikora, M., Moura, P., & Fernández, N. (2015). Modeling Smart Grid neighborhoods with the ENERSip ontology. *Computers in Industry*, 70, 168–182. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2015.01.008>
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). *Energy*, 68, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Mathiesen, B. V., Lund, H., Connolly, D., Wenzel, H., Østergaard, P. A., Möller, B., Hvelplund, F. K. (2015). Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions. *Applied Energy*, 145, 139–154. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.075>
- Mathiesen, B. V., Lund, H., & Karlsson, K. (2011). 100% Renewable energy systems, climate mitigation and economic growth. *Applied Energy*, 88(2), 488–501. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.03.001>
- Scognamiglio, A., Adinolfi, G., Graditi, G., & Saretta, E. (2014). Photovoltaics in Net Zero Energy Buildings and Clusters: Enabling the Smart City Operation. *Energy Procedia*, 61, 1171–1174. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1046>

## CHESSE SETUP: EL PROYECTO EUROPEO HACIA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

**Lucía González Navarete**, Founder and CEO, Edenway  
**Roby Moyano**, Project Manager, Edenway

**Resumen:** CHESSE SETUP es un consorcio formado por 10 entidades europeas uniendo sus esfuerzos para desarrollar una solución de suministro y almacenamiento de energía para los edificios. Su objetivo es diseñar e implementar un sistema, basado en el uso de energías renovables, almacenamiento térmico, y bombas de calor, capaz de suministrar calor (calefacción y agua caliente sanitaria) y electricidad a edificios durante todo el año. Este sistema pretende ser adaptable al tipo de edificio, y optimizable en cuanto a su entorno (previsiones meteorológicas, nivel de energía almacenada), tarea que se está experimentando en tres ciudades del Reino Unido y España.

**Palabras clave:** EECN, Proyecto H2020, Autoconsumo, Energía Solar, Integración de Energías Renovables, Solar Térmico y Fotovoltaico, Almacenamiento Térmico, Bomba de Calor

### CHESSE SETUP: DEL CONCEPTO AL CONSORCIO EUROPEO

El sector de los edificios es responsable de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del mundo según el World Green Building Council. Construir edificios, calentarlos, proveerles de electricidad y agua caliente, mientras la población mundial está creciendo, así como sus necesidades energéticas, representa un desafío central para nuestra sociedad.

Mantener el calentamiento global por debajo del umbral de 2 grados de aumento será inalcanzable sin transformar o reformar nuestros edificios, ya sean viviendas, edificios de servicios o empresariales.

Por consiguiente, la Comisión Europea estableció objetivos precisos para sus edificios:

- En 2020, todos los nuevos edificios deberán cumplir con el criterio “Net Zero Emission Building” (NZEB), o Edificios de Energía Casi Nula en español
- Para los nuevos edificios públicos, el plazo de vencimiento es 2018
- El 100% de los edificios existentes deberán cumplir con este criterio en 2050.

De hecho, el sector de la construcción como el sector de la renovación (retrofitting in ingles) necesitaran soluciones para lograr estos objetivos.

Para que afloren nuevas soluciones técnicas, el programa de financiación H2020 procedente de la Comisión Europea financia proyectos de implementación de nuevas soluciones. En este contexto se formó el proyecto Chess Setup, que se propone reducir las necesidades energéticas (y, de hecho, las emisiones de GEI) adoptando el enfoque del suministro.

### El concepto: un sistema propio combinando tecnologías certificadas

El concepto inicial había sido ideado por Barcelona Ecología, ahora coordinador del consorcio. A la problemática “¿Cómo reducir el consumo de energía de los edificios?”, se planteaban varias pistas de respuesta. Se podía lograr reducir la demanda, mediante un mejor aislamiento, o una mejor eficiencia de los equipos. Pero el aspecto elegido aquí fue el del suministro: produciendo energía in situ para suministrar los edificios de manera sostenible.

En las viviendas, la energía que consumimos se usa en los equipos de calefacción, de agua caliente sanitaria (ACS) - que representan juntos el 60% de la energía consumida por los edificios - y la alimentación de nuestros electrodomésticos. De hecho, sus formas pueden ser duales: por una parte, tenemos circuitos térmicos, y, por otra parte, circuitos eléctricos. Para desarrollar un sistema capaz de ofrecer una solución global, ambas formas de energía deberían ser suministradas a los edificios.

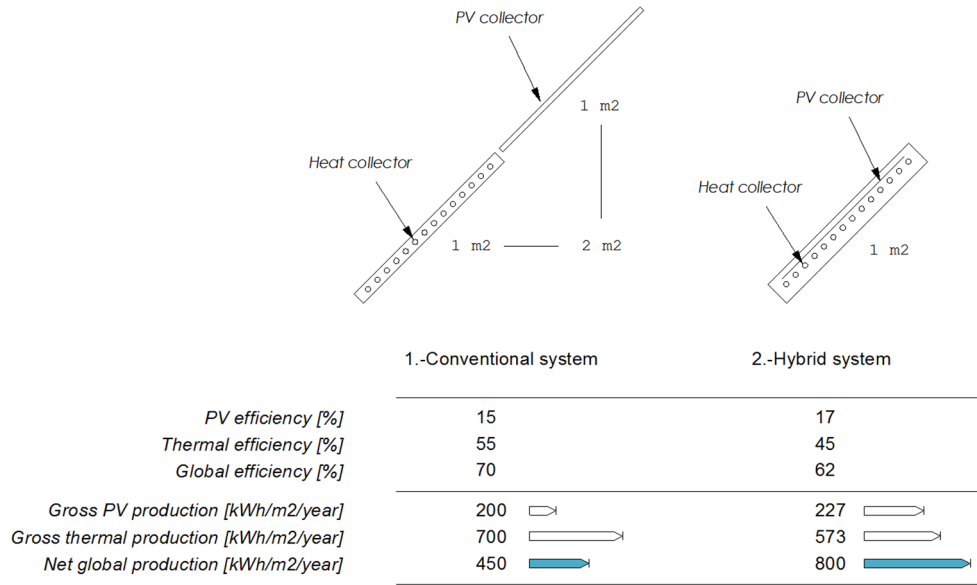


Figura 1. Comparación del rendimiento de paneles solares convencionales e híbridos.

Buscando una solución técnica permitiendo producir eficientemente ambos tipos de energía, la energía solar se impuso. Así pues, la eficiencia de los paneles solares híbridos está demostrándose, y estos paneles solares fotovoltaicos y térmicos podrían representar una solución del futuro gracias a su alto rendimiento en generación de electricidad y de calor.

Las primeras análisis destacaron el primer reto de un sistema basado en la energía solar: el desfase entre las temporadas de radiación solar, y las necesidades de energía térmica.

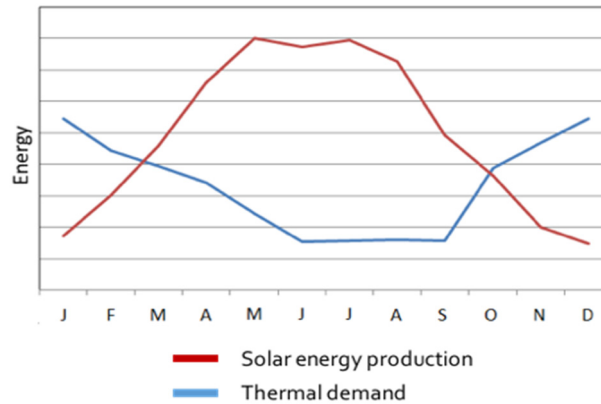


Figura 2. El desfase entre la producción de energía solar, y la demanda de calor.

La solución debería contemplar este desfase, imaginando una manera de proveer calor independientemente de la radiación solar actual: el almacenamiento térmico estacional.

Así, el calor excedente generado por los paneles solares híbridos en verano será almacenado en un tanque de agua caliente. Al revés, si la demanda de calor es más alta que lo que la radiación solar permite producir, el agua suministrada al edificio será calentada a partir del tanque de almacenamiento térmico y mediante una bomba de calor.

Algunas experiencias de almacenamiento térmico estacional ya habían sido implementadas en los años noventa en Alemania. El proyecto Chess Setup se conformó para comprobar la viabilidad técnico-económica de estas experiencias

previas, y sobre todo para diseñar un sistema integrado, eficiente, a bajo coste, adaptable a las características, como a la localización de los edificios.



Figura 3. Los triples objetivos de CHES SETUP.

## El proyecto

Barcelona Ecologia formó un consorcio para trabajar en este sistema, refinar el concepto, y, sobre todo, implementarlo.

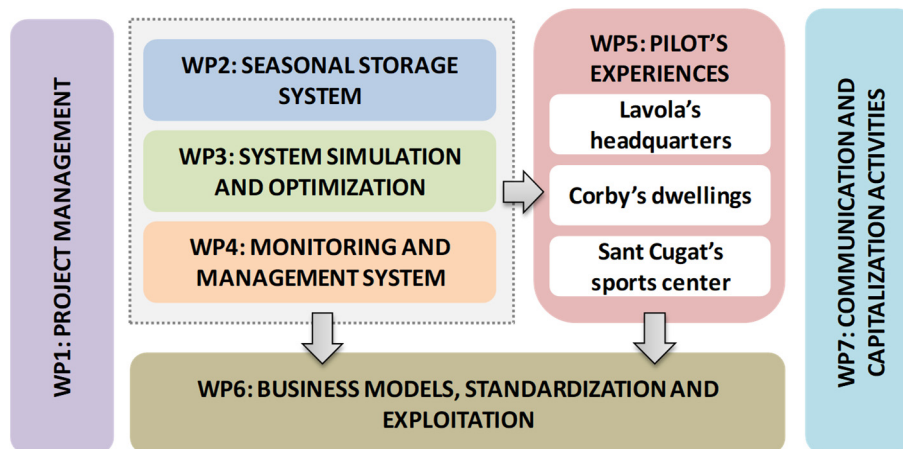


Figura 4. Arquitectura del proyecto.

Se trata de 10 entidades europeas que se unieron, por una duración de 3 años, con un presupuesto global de 3,7 millones de euros. Entre ellas contamos con algunos expertos técnicos como los españoles Veolia (Catalunya), y la consultoría Lavola, o de la gestión administrativa y financiera como Eurogrant. La arquitectura del sistema cuenta con el peritaje del arquitecto holandés René Wansdronk, y del profesor de la Universidad del Ulster Neil Hewitt,

especializado en el almacenamiento térmico y las bombas de calor. El sistema de monitorización y gestión de la energía está desarrollado por la empresa Wattia Innova, mientras la comunicación, y la definición del modelo de negocio están liderados por la consultoría franco-española Edenway. Todo este trabajo se concreta in situ en los pilotos que son la piscina municipal de San Cugat (Catalunya), la sede de Lavola en Manlleu (Catalunya), y un conjunto de 47 nuevas viviendas en Corby (Reino Unido).

## LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

### Primeros resultados

Desde el verano 2016, el consorcio empezó a trabajar sobre la concepción del sistema CHESSETUP cuya componente innovadora reside en la combinación y la optimización de tecnologías certificadas.

Se han realizado un estudio de las capacidades de los diferentes elementos, una investigación técnica, el diseño de una herramienta midiendo el tamaño óptimo de los componentes.

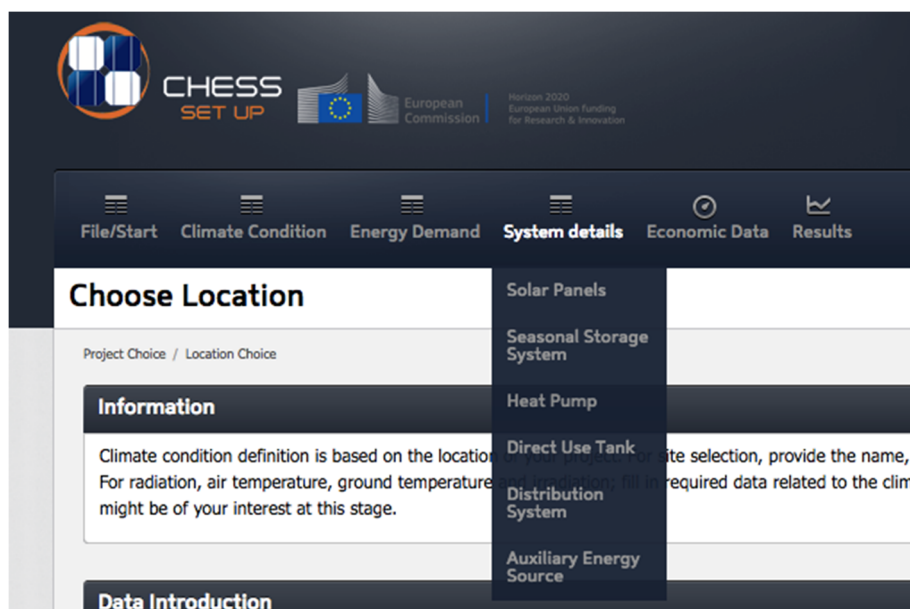


Figura 5. Extracto de la herramienta de dimensionamiento del sistema.

También se finalizó el diseño de la conectividad de la infraestructura: varios sensores analizarán el grado de llenado del tanque, como las previsiones meteorológicas, para arbitrar entre la opción de usar el calor almacenado tras la activación de la bomba de calor, o usar directamente el calor y la electricidad producidas en el momento.

Esta concepción cada vez más fina del sistema permitió diseñar los proyectos ejecutivos o sea el detalle de los sistemas adaptados a cada piloto. Pasando de la teoría a la acción, varias cuestiones surgieron, y necesitaron adaptar el modelo a su entorno: el peso de los paneles híbridos, el escaso espacio libre en la azotea en zonas urbanas, las normativas nacionales, etc.

### Próximos pasos

El proyecto entró en su segunda fase. Las obras empezaran en breve en los tres pilotos. En base de ellos, se realizará un estudio de coste global del sistema, para luego estudiar los modelos de negocio asociados a la instalación del sistema CHESSETUP.

## ENERTIC - CENTRO DE INNOVACIÓN Y EMPRESAS PARA EL ÁMBITO SMART

**Ana Aizpuru**, Responsable Estrategia Inteligente y Sectorial, Fomento de San Sebastián  
**Izaskun Larzabal**, Directora, Ezketa Arquitectura y Urbanismo

**Resumen:** El edificio Enertic inaugurado en junio de 2014 fue concebido por Fomento de San Sebastián con el claro objetivo de crear un icono contemporáneo que mediante su imagen y uso sirva como catalizador en la reacción/renovación que pide su entorno. Enertic, un edificio de calificación energética A y próximo a emisiones 0, integra desde su diseño y construcción, principios bioclimáticos, tanto en sí mismo, como en su entorno, a través de estrategias energéticas pasivas (relación forma-volumen, orientación norte-sur, ventilación e iluminación natural a través de patios interiores, cubierta verde, jardín vertical) y estrategias energéticas activas (geotermia, aerotermia, energía solar fotovoltaica, minieólica). El centro también cuenta con un pequeño motor de cogeneración, además de otras estrategias añadidas al edificio o a su entorno: uso de materiales de bajo impacto ambiental, depuración de aguas residuales, reutilización de aguas pluviales en riego y WC. En la planta baja del edificio está instalada la Micro-red energética i-Sare, que trabaja las áreas de generación, almacenamiento y consumo energético; actualmente i-Sare está funcionando en modo isla, con posibilidad de conexión al edificio en el futuro. El Centro está ubicado en el Polígono industrial 27 de Donostia – San Sebastián, dentro del distrito Urumea Riverside, zona de nuevos desarrollos urbanos de ámbito smart.

**Palabras Clave:** Energía Renovable, Eficiencia Energética, Smart City, Smart Cities, Bioclimatismo, Sostenibilidad

### SITUACIÓN ESTRATÉGICA

El edificio Enertic está ubicado en el Polígono 27, el polígono más grande y antiguo de la ciudad, y se enmarca en una situación estratégica a nivel de Donostia, en una zona periférica, pero a la vez, bien comunicada y con nuevos proyectos urbanos, industriales, de infraestructuras y de grandes oportunidades.



Figura 1. Edificio Enertic.

Enertic forma parte a su vez del Distrito Urumea Riverside donde confluyen iniciativas importantes como el Proyecto Europeo REPLICATE H2020 en el ámbito de las Smart Cities, junto con nuevos desarrollos urbanos e infraestructuras entre los que cabe destacar el District Heating que se está desarrollando actualmente en Txomin-Enea, zona residencial del distrito.

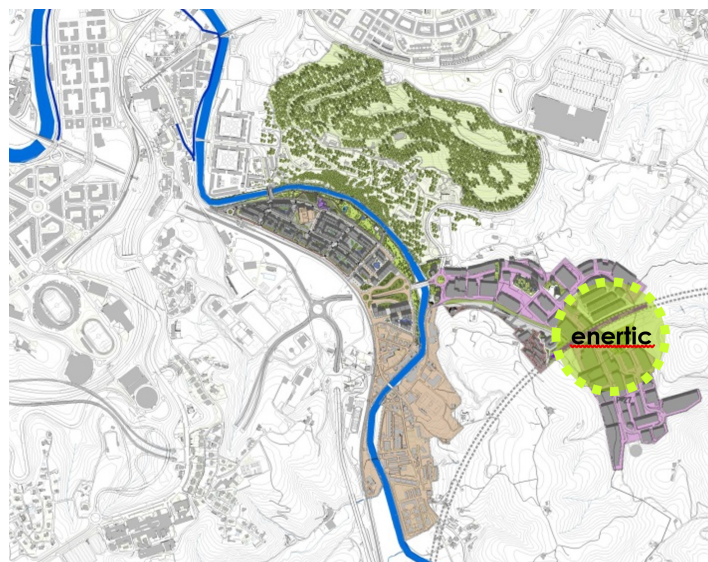


Figura 2. Situación Geográfica.

## ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

El edificio, ideado como un centro de empresas e innovación sectorial para albergar empresas del ámbito de las energías renovables, la eficiencia energética y las Smart Cities, y de esta manera funcionar a modo de catalizador para impulsar nuevas actividades hacia una nueva economía más sostenible en el Polígono 27, predica con su ejemplo e integra en sí mismo y en su entorno, tanto EERR, como estrategias energéticas activas y pasivas.

### Objetivo: Calificación energética A + aproximación a 0 emisiones

Un edificio de energía casi nula comienza por una buena integración de estrategias energéticas pasivas en su diseño para la reducción de la demanda energética, y continúa por una buena selección de las instalaciones y las energías renovables para la optimización del rendimiento hacia unas emisiones 0.

### Estrategias energéticas pasivas

El edificio Enerctic integra en su diseño estrategias energéticas pasivas tales como:

#### **Relación forma-volumen**

- Compacidad para limitar las pérdidas

#### **Doble orientación: Norte-Sur**

- Norte (naturaleza): luz de trabajo
- Sur (ciudad): captación solar

#### **Equilibrio: Cerrado-Abierto**

- FACHADA DE HORMIGÓN (norte):
  - Minimizar pérdidas energéticas
  - Aumentar la inercia térmica
  - 30% perforación: ventilación + iluminación
- ATRIO (sur) (Gestión automática). Invierno: captación solar. Verano: ventilación natural
- PATIOS INTERIORES: Ventilación + iluminación natural



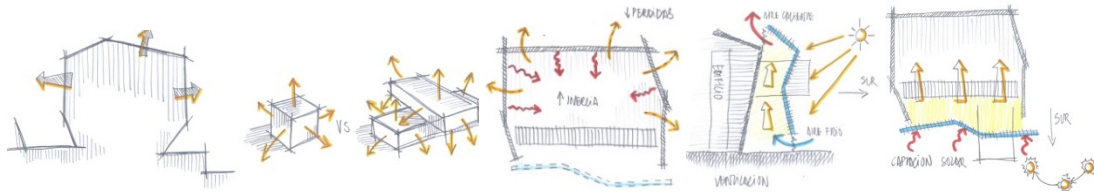


Figura 3. Estrategias pasivas.

**Incorporación de elementos vegetales: regulación térmica**

- CUBIERTA VEGETAL
  - o Aislamiento térmico + inercia térmica
  - o Disipación de calor superficial
  - o Reutilización de agua de lluvia
- JARDÍN VERTICAL
  - o Invierno: captación solar. Verano: protección solar

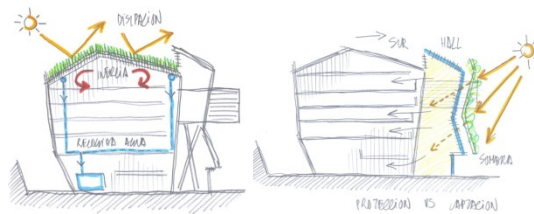


Figura 4. Elementos vegetales: cubierta vegetal y jardín vertical.

**Estrategias energéticas activas**

Aplicadas las estrategias energéticas pasivas, se seleccionan las instalaciones y energías renovables óptimas para el funcionamiento del edificio, partiendo de simulaciones energéticas y considerando su uso como oficinas, con las siguientes demandas:

	Calefacción	Climatización	ACS	Iluminación
Demanda	baja	alta	baja	electricidad

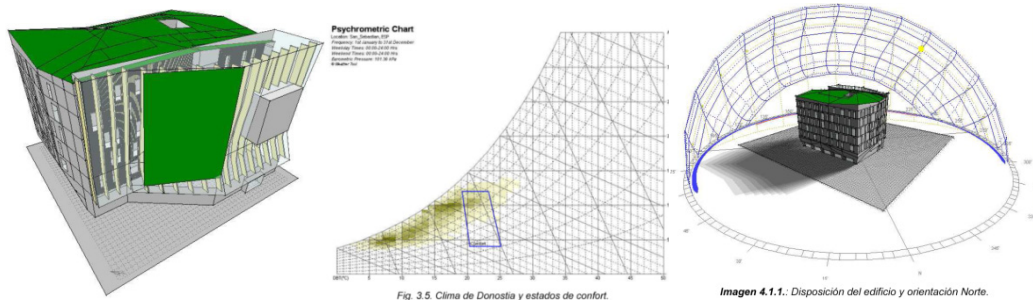


Figura 5. Simulaciones Energéticas.

**Geotermia: energía renovable base**

Se opta para la calefacción, climatización y ACS por una combinación de bomba de calor agua/agua por geotermia con un apoyo de bomba de calor aire/agua para momentos de picos de consumos. Las sondas para la geotermia se instalan bajo el aparcamiento exterior del edificio. La climatización se realiza mediante fancoils en oficinas y unidades de tratamiento de aire primarias con recuperación y enfriamiento gratuito en exterior (UTA).

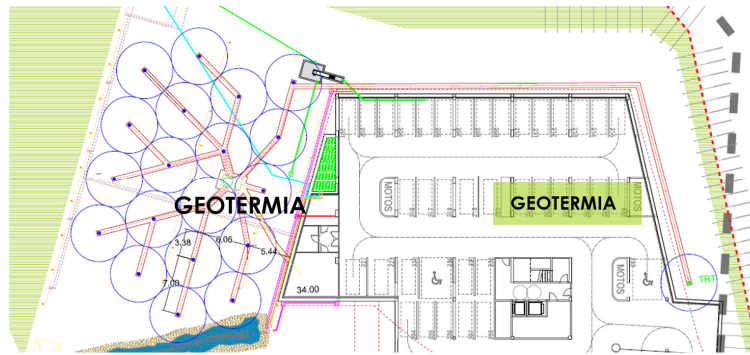


Figura 6. Geotermia.

**Producción de electricidad: energía solar fotovoltaica y eólica**

Integradas tanto en el entorno del edificio como en el propio edificio se encuentran varias instalaciones de producción de electricidad, entre ellas:

- Eólica: Micro turbinas eólicas en cubierta y aerogenerador en la colina tras el edificio:



Figura 7. Instalación mini eólica en cubierta.

- Solar fotovoltaica: Paneles solares fotovoltaicos situados sobre las plataformas de aparcamiento frente al edificio y en la colina tras el mismo.

Siempre que toda la energía producida se consume, las instalaciones pueden llegar hasta un 90% de rendimiento cubriendo la práctica totalidad de la demanda.



Figura 8. Instalación fotovoltaica.

## Principios Bioclimáticos

El edificio puede resumirse como una conjugación de principios bioclimáticos, de estrategias energéticas pasivas y activas, así como de instalaciones de energías renovables y de eficiencia energética aplicados en el propio proyecto arquitectónico con el objetivo de lograr una calificación energética A y unas emisiones casi nulas.

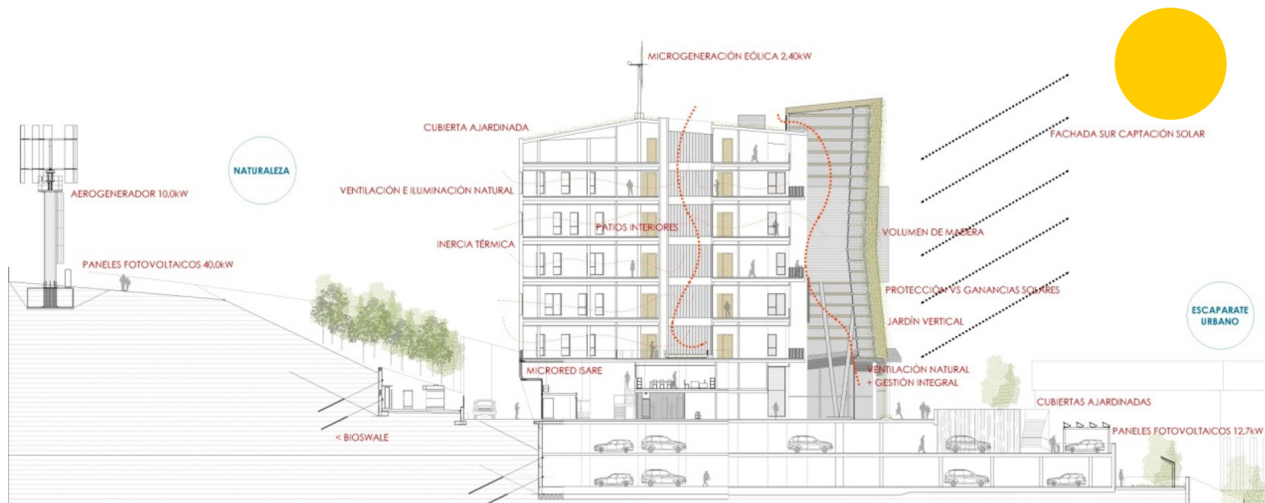


Figura 9. Sección de principios bioclimáticos del edificio.

## Monitorización: seguimiento del edificio en uso

La monitorización permite realizar un seguimiento del funcionamiento de las instalaciones para tomar decisiones en cuanto a la programación o uso de las mismas para su optimización o para la integración de nuevas instalaciones.

## Otras estrategias

En el edificio se integran además otro tipo de estrategias, tales como:

- Uso de materiales de bajo impacto ambiental (ACV)
- Depuración de aguas residuales (tanque de tratamiento biológico y bioswale)
- Reutilización de aguas pluviales en riego y WC

## Futuros proyectos de energías renovables y eficiencia energética

El diseño del edificio permite integrar nuevas instalaciones de energías renovables y de eficiencia energética durante la vida útil del edificio. A futuro se plantea incorporar una instalación de energía solar térmica y una instalación de absorción para producción de frío. Además de las mencionadas, el edificio alberga una instalación de cogeneración de producción de electricidad y calor, así como la micro red i-Sare de generación, almacenamiento y consumo energético.

## Resultado Arquitectónico



Figura 10. Resultado arquitectónico.

## Ficha técnica

- Promotor: Fomento de San Sebastián
- Arquitectura: Izaskun Larzabal-Ezketa SLP
- Superficie: 8.922,55 m<sup>2</sup>
- Ingeniería: Factor 4-IP21-Cidemco-Tecnalia
- Dirección de obra: Donostiako Udala
- Constructora: HM
- Estructura: Ingeniería Lanchas
- Fotografía: Luis M<sup>a</sup> Ambrós-Susana Aréchaga

# LOS EDIFICIOS NO NECESITAN RESPIRAR, NECESITAN SECAR: ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS POR HUMEDAD EN LA REHABILITACIÓN ENERPHIT DE UN EDIFICIO HISTÓRICO EN BARCELONA

**Oliver Style**, Consultor Passivhaus, Progetic  
**Bega Clavero**, Arquitecta Técnica - Passivhaus Tradesperson, Progetic  
**Nuria Widmann**, Arquitecta, Intercon

**Resumen:** Se presentan las estrategias de protección contra daños por humedad en la rehabilitación energética de un edificio histórico en Barcelona, en obra y en proceso de certificación Passivhaus EnerPHit y LEED. El edificio, construido en el año 1954, tiene una superficie construida de 2.050 m<sup>2</sup>, con una planta sótano y 4 plantas sobre rasante. Albergará 4 viviendas. La obligación de la instalación del aislamiento térmico por el interior requirió un análisis detallado a través de cálculos numéricos higrotérmicos dinámicos conforme la UNE-EN 15026:2007, al momento de diseñar la capa estanca y el aislamiento térmico. Se buscó una solución que presentaba un bajo riesgo de daños por humedad, con un espesor moderado, usando materiales con mínimas emisiones de COV's, a un coste razonable. Se concluye que para rehabilitaciones EnerPHit con aislamiento por el interior, hay que priorizar la protección contra daños por humedad, sobre la reducción de las demandas energéticas. De lo contrario, se corre el riesgo de sobre-aislar, usando materiales con una alta resistencia al vapor de agua. Esto limita el potencial de secado del elemento constructivo, dando pie a graves patologías a mediano plazo que hacen que la rehabilitación se vuelva redundante. Dicho de otra manera: los edificios no necesitan respirar, necesitan secar.

**Palabras clave:** Rehabilitación, Passivhaus, EnerPHit, WUFI, Condensación, Humedad, Moho, Aislamiento Interior, Control de Vapor, Transpirabilidad, Hermeticidad, Estanqueidad

## INTRODUCCIÓN

El edificio en cuestión se encuentra en Barcelona capital, a una altura de 120 m sobre el nivel del mar. El clima de la zona es cálido-templado subtropical, con un promedio de 640 mm de lluvia por año (más que Berlín, Copenhagen, o Londres). Cuenta con una superficie útil de 1.437 m<sup>2</sup>, repartidas sobre una planta sótano y 4 plantas sobre rasante.

El edificio se construyó en el año 1954 para uso residencial, con una fachada de ladrillo manual de doble hilada de 29 cm, con mortero de cal, y aplacado de piedra artificial de 5 cm (Figura 1). El ladrillo queda visto en aproximadamente un 30 % de la fachada (Figura 2). Los acabados interiores de cerámica y yeso se han ido limpiando para dejar el ladrillo visto en la cara interior (Figura 3, Figura 4). Los forjados y la cubierta son de viguetas de hormigón prefabricadas con bovedillas de cerámica de 25cm, con 3cm de terrazo (Figura 5, Figura 6).



Figura 1. Vista de la fachada sureste.



Figura 2. Vista de la fachada de ladrillo cara vista.



Figura 3. Vista de la cara interior de los muros de fachada.



Figura 4. Vista de la cara interior de los muros de fachada.



Figura 5. Forjados con viguetas de hormigón reforzados y bovedillas de cerámica.



Figura 6. Suelos de terrazo.

La obra está en proceso de certificación Passivhaus EnerPHit por componentes y LEED for Homes Platinum. Conseguir este objetivo, lo convertirá en la primera rehabilitación plurifamiliar en conseguir ambos sellos en España.

Los datos del proyecto se muestran a continuación:

- Clase de certificación Passivhaus: EnerPHit por componentes
- Superficie útil (PHPP): 1.437 m<sup>2</sup>
- Superficie construida: 2.050 m<sup>2</sup>
- Promotora-Constructora: Pagford Innova
- Arquitectos: Intercon
- Ingeniería de instalaciones: JG Ingenieros
- PHPP y diseño Passivhaus: Progetic
- Certificación Passivhaus: Energiehaus Arquitectos
- Certificación LEED: XCO2, Alex Parella
- Project management: CBRE-Betlinks
- Construcción: AC7
- Estructura: OtherStructures

## ENERPHIT

La certificación EnerPHit ofrece dos vías para conseguir la certificación: demandas energéticas y componentes (Figura 7). La vía de las demandas es prestacional, estableciendo demandas energéticas límites, según la zona climática y tipología de edificio, siendo la ruta más restrictiva (Figura 8). La vía de los componentes es prescriptiva, estableciendo transmitancias térmicas límites de los elementos constructivos, según su tipología e orientación, la posición de instalación del aislamiento, y el clima local (Figura 9). Existen requisitos comunes a ambas vías, como, por ejemplo, la hermeticidad al aire de  $N50 \leq 1,00/h$ .

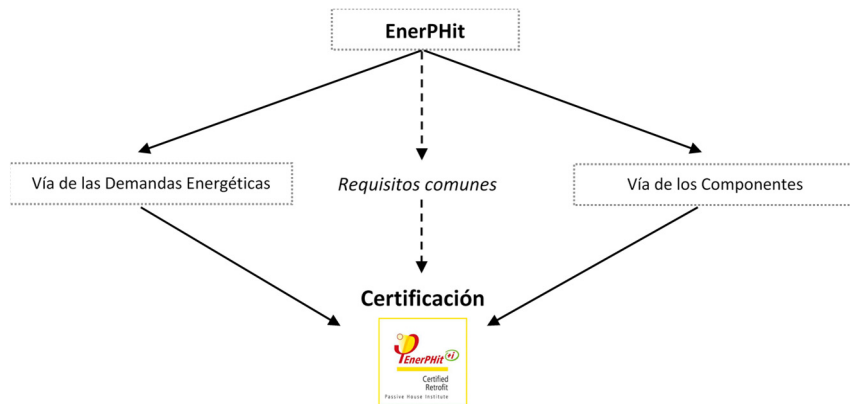


Figura 7. Vías para la certificación EnerPHit.

Climate zone according to PHPP	Heating		Cooling		Opaque envelope <sup>1</sup> against...						Windows (including exterior doors)			Ventilation	
	Max. heating demand		Max. cooling + dehumidification demand		...ground		...ambient air		Overall <sup>4</sup>		Glazing <sup>5</sup>	Solar load <sup>6</sup>	Min. heat recovery rate <sup>7</sup>	Min. humidity recovery rate <sup>8</sup>	
	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	Insulation	Exterior insulation	Interior insulation <sup>2</sup>	Exterior paint <sup>3</sup>	Max. heat transfer coefficient (U <sub>DW,installed</sub> )	Solar heat gain coefficient (g-value)	Max. specific solar load during cooling period	Min. heat recovery rate <sup>7</sup>	Min. humidity recovery rate <sup>8</sup>		
Arctic	35	equal to Passive House requirement	0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	U <sub>g</sub> - g*0.7 ≤ 0	100	80%	-			
Cold	30		0.12	0.30	-	0.65	0.70	0.80	U <sub>g</sub> - g*1.0 ≤ 0		80%	-			
Cool-temperate	25		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	U <sub>g</sub> - g*1.6 ≤ 0		75%	-			
Warm-temperate	20		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	U <sub>g</sub> - g*2.8 ≤ -1		75%	-			
Warm	15		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	-			
Hot	-		0.50	0.75	Yes	1.25	1.30	1.40	-		-	60% (humid climate)			
Very hot	-		0.25	0.45	Yes	1.05	1.10	1.20	-		-	60% (humid climate)			

Figura 8. Criterios EnerPHit por demandas energéticas [1].

Figura 9. Criterios EnerPHit por componentes [1].

Con el objetivo de identificar la vía de certificación más adecuada, se realizaron simulaciones con PHPP para establecer los requisitos pasivos para cumplir por demandas energéticas y por componentes:

	Proyecto Original	Valores límites: EnerPHit energéticas demandas	Valores límites: EnerPHit componentes
Demanda de calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	125	≤ 15	(28)
Demanda de refrigeración & deshumidificación [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	22	≤ 17	(15)
Consumo de energía primaria [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	332	≤ 100	≤ 130
Transmitancia Solera, U [W/m <sup>2</sup> ·K]	3,00	(≤ 0,22)	≤ 0,66
Transmitancia Muro exterior contra terreno, aislamiento interior, U [W/m <sup>2</sup> ·K]	0,62	(≤ 0,25)	≤ 1,24
Transmitancia Muro exterior contra aire, aislamiento interior U [W/m <sup>2</sup> ·K]	0,56	(≤ 0,24)	≤ 0,75
Transmitancia Cubierta U [W/m <sup>2</sup> ·K]	0,40	(≤ 0,18)	≤ 0,50
Transmitancia Ventana U <sub>w, instalada</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	5,00	(≤ 1,27)	≤ 1,31
Hermeticidad al aire, N50 [1/h]	~ 15,0	1,0	1,0
Tasa de recuperación de calor, sistema ventilación mecánica η [%]	~ 35%	≥ 75%	No prescribe

Tabla I. Proyecto actual, y valores límites para el método de las demandas energéticas y de los componentes.

## ESTRATEGIAS PASIVAS

En la decisión sobre que método de certificación escoger, regían 4 criterios:

- Coste
- Grosor del aislamiento interior en los muros exteriores
- Riesgo de daños por humedad
- Cumplimiento de los materiales con los requisitos LEED respecto a las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV).

Para valorar el riesgo de daños por humedad en los muros exteriores, se realizaron una serie de simulaciones higrotérmicas dinámicas con la herramienta WUFI Pro 1D, para una duración de 10 años, comparando la solución inicial de proyecto, con 7 alternativas de aislamiento térmico y hermeticidad, para el caso más desfavorable, siendo la fachada de ladrillo cara vista, con orientación Nordeste. Para el clima exterior, se usó un fichero climático horario, basado en datos históricos del AEMET. Se calculó la temperatura e humedad relativa interior, según el clima exterior, conforme la EN 15026, para una carga higríca normal. El elemento constructivo se considera libre de riesgo de daños por humedad cuando la humedad relativa de la cara interior del muro se mantiene generalmente < 80 % cada año, durante los 10 años. La Tabla II muestra los resultados:

#	Capa estancia	Aislamiento interior	Composición [Ext. > Int.]	Espesor [mm]	Valor U [3] [W/m <sup>2</sup> ·K]	Riesgo, daños por humedad [Si / No]
0	-	PUR proyectado	Ladrillo 290mm / aislamiento PUR 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	360	0,371	
1	Pintura estancia proyectada	Aerogel + PUR proyectado	Ladrillo 290mm / pintura estancia 1mm / aislamiento aerogel 40mm / aislamiento PUR 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	400	0,186	
2	Enyesado	Aerogel + PUR proyectado	Ladrillo 290mm / enyesado 10mm / aislamiento aerogel 40mm / aislamiento PUR 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	410	0,184	
3	Pintura estancia proyectada	PIR + PUR proyectado	Ladrillo 290mm / pintura estancia 1mm / aislamiento PIR 60mm / aislamiento PUR 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	430	0,192	



4	Enyesado	PIR + PUR proyectado	Ladrillo 290mm / enyesado 10mm / aislamiento PIR 60mm / aislamiento PUR 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	440	0,191	
5	Pintura estanca proyectada	Celulosa proyectada	Ladrillo 290mm / pintura estanca 1mm / aislamiento celulosa proyectada 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	360	0,483	
6	Enyesado	Celulosa proyectada	Ladrillo 290mm / enyesado 10mm / aislamiento celulosa proyectada 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	370	0,472	
7	Enyesado	Celulosa proyectada	Impregnación hidrórepelente / Ladrillo 290mm / enyesado 10mm / aislamiento celulosa proyectada 48mm / doble placa cartón yeso 25mm	370	0,472	

Tabla II. Análisis de riesgo de daños por humedad en distintas configuraciones.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que la mejor solución para evitar daños por humedad era trabajar con una solución de aislamiento y hermeticidad permeable al vapor de agua, permitiendo el secado del elemento constructivo en ambas direcciones, durante todo el año. Para ello, se proyectó un enyesado de 10 mm para la hermeticidad (transpirable el vapor de agua) y un aislamiento de celulosa proyectada (transpirable al vapor de agua). Por mayor seguridad, se aplica una impregnación hidrórepelente, a base de compuestos siloxánicos, sobre la cara exterior de la fachada, para reducir la entrada de humedad a través del ladrillo hacia la capa de aislamiento por la acción de la lluvia torrencial. Esta solución da propiedades hidrofóbicas a la fachada, permitiendo la transpirabilidad y el secado hacia el exterior en el verano.

La Figura 10 muestra la temperatura y humedad relativa, en la cara interior del muro (interfaz entre enyesado y aislamiento), durante los 10 años simulados, mostrando valores máximos de humedad relativa del 83 %. La Figura 11 muestra la transmitancia térmica dinámica en comparación con la transmitancia en estado estable y seco (cuando el contenido de agua de un aislamiento aumenta, su conductividad también aumenta, provocando un aumento en la transmitancia térmica del elemento). Los resultados indican que las variaciones en el contenido de humedad del aislamiento, no provocan una degradación de su protección térmica en el transcurso del año. La solución también cumple con los criterios de coste y de las bajas emisiones de COV's requeridos para la certificación LEED.

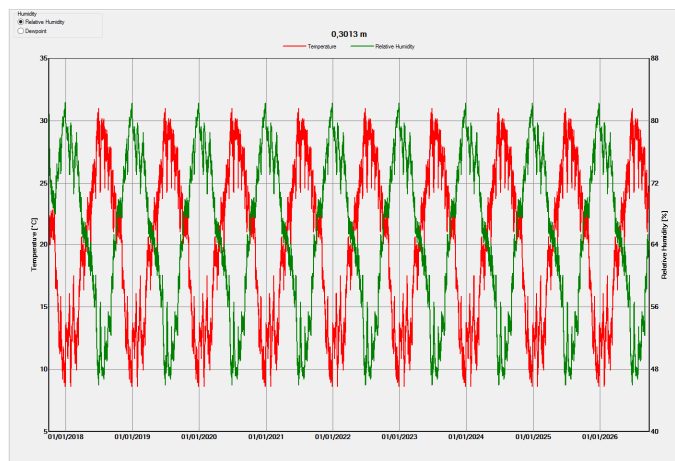


Figura 10. Temperatura y humedad relativa en la cara interior del muro de fachada #7.

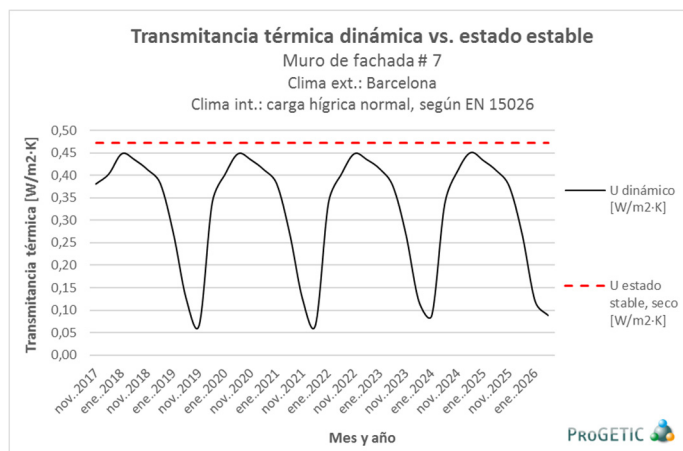


Figura 11. Transmitancia térmica dinámica del muro de fachada #7.

Se puede concluir que, para rehabilitaciones EnerPHit de edificios históricos, es importante considerar el riesgo de daños por humedad al momento de optar por la vía de certificación EnerPHit. El riesgo de sobre-aislar con materiales de alta resistencia al vapor de agua para reducir al máximo las demandas energéticas, puede limitar gravemente el potencial de secado de un elemento constructivo y generar patologías a futuro. Es decir: los edificios no necesitan respirar, necesitan secar.

## REFERENCIAS

- [1] Passive House Institute, 2016, “Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard”. Version 9f, revised 15.08.2016. Passive House Institute, Darmstadt, Alemania.
- [2] Mapei, 2012, “Línea Antipluviol. Protección de sistemas de ladrillo cara vista, piedra natural y artificial, revoques y hormigón.” Ibermapei, S.A., Barcelona, España.
- [3] Calculadas con WUFI, sin tomar en cuenta la estructura metálica del trasdosado

## ESTRATEGIA DEL AYUNTAMIENTO MADRID PARA FOMENTAR LA REHABILITACIÓN CON CRITERIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES EN APIRUS

**Pilar Pereda Suquet**, Asesora Área de Desarrollo Urbano Sostenible, Ayuntamiento de Madrid

**Resumen:** Una de las prioridades del Ayuntamiento de Madrid es la recuperación de la ciudad existente y muy concretamente la rehabilitación integral con criterios de accesibilidad y eficiencia energética. Para conseguir implantar esta medida destinada a mejorar la calidad de vida de las familias en situación de vulnerabilidad, se diseñó en 2016 el Plan MAD-RE que mediante una ayuda a fondo perdido del 60% incluido IVA y gastos generales, impulsa la mejora del aislamiento, instalaciones eficientes e implantación de renovables en las viviendas situadas en Áreas Preferentes de Impulso a la Regeneración Urbana, APIRU, que agrupan 590.747 viviendas construidas antes de-1980, con tipología de bloque abierto que presentan importantes deficiencias energéticas y de accesibilidad.

**Palabras clave:** Rehabilitación, Eficiencia Energética, Ahorro, Ayudas, Calidad vida, Confort

### CÓMO CONSEGUIR AHORRAR 15.500 T/AÑO DE CO2 REHABILITANDO LA CIUDAD EXISTENTE

#### Las premisas

Una de las prioridades de la actual corporación municipal desde que accedió al gobierno del Ayuntamiento de Madrid es la recuperación de la ciudad existente y, muy concretamente, la rehabilitación integral con criterios de eficiencia energética y con la obligada mejora de la accesibilidad.

Los datos sobre las más de 7.200 muertes prematuras que la pobreza energética se cobra cada año en nuestro país, en el que dos de cada diez hogares no pueden encender la calefacción ni iluminarse cuando anochece ante la incapacidad de pagar las facturas energéticas, parecían indicadores suficientes para decidir intervenir en la ciudad existente y concretamente en la corona de barrios de vivienda social, construidos en el período 1960-1980, con tipología mayoritaria de bloque abierto que presentan importantes deficiencias energéticas y de accesibilidad.

Estas áreas requieren una atención prioritaria y donde se han centrado los esfuerzos de renovación, para avanzar en el reequilibrio social y territorial de nuestra ciudad, interviniendo donde han aumentado las desigualdades durante la crisis.

Es evidente que una parte importante del problema procede de la calidad de las viviendas, pero precisamente las familias que no pueden pagar la energía tampoco disponen de dinero para rehabilitar sus viviendas. Aquí empieza el reto del Plan MAD-RE, Madrid Recupera, rehabilita tu casa, regenera tu barrio.

#### Escuchar a los agentes implicados

El primer escalón que se planteó el Área de Desarrollo Sostenible fue redactar una estrategia integral de rehabilitación de la ciudad, centrada especialmente en la periferia, que permitiera a las familias con menos ingresos acceder a mejorar las condiciones de habitabilidad y confort de sus viviendas. Para ello, era preciso escuchar a las partes que iban a intervenir activamente en el proceso, así como experiencias anteriores que permitieran valorar debilidades y fortalezas de las intervenciones, evitando partir de un esquema predefinido.

Con esta finalidad, en septiembre de 2015 el Área de Desarrollo Sostenible constituyó la Mesa de Rehabilitación, donde se reúnen los principales agentes implicados, representantes de los tres niveles de la Administración, nacional, autonómica y local, los profesionales, las empresas del sector, las entidades financieras y los grupos políticos. Los más importantes de este proceso, los ciudadanos, están representados por la Federación Regional de Asociaciones vecinales de Madrid FRAVM, la Confederación de Asociaciones de Consumidores y Usuarios de Madrid (CECU) y otras plataformas y fundaciones de la sociedad civil organizada.

De esta Mesa surgieron las bases de la primera convocatoria del denominado Plan MAD-RE, Madrid Recupera, centrado en la recuperación de las viviendas, los edificios, los barrios y por tanto de la ciudad.



*Figura 1. Mesa de Rehabilitación.*

## Identificar las áreas de intervención APIRUs

El 17 de marzo de 2016 se aprobaron inicialmente 109 Áreas Preferentes de Impulso a la Regeneración Urbana (APIRU) a partir de 4 indicadores, la antigüedad y el valor catastral de la edificación y la edad y el nivel de estudios de la población, con los umbrales de corte indicados a continuación:

- Edad de la edificación: anterior a 1980
- Valor catastral de la edificación un 20% inferior a la media municipal
- Porcentaje de población envejecida un 20% superior a la media municipal
- Porcentaje de población sin estudios un 20% superior a la media municipal

Se identificaron las parcelas que cumplían las condiciones 1 y 2 de antigüedad y valor catastral bajo, y al menos una de las condiciones 3 y 4. Es decir, del conjunto formado por las parcelas con edificación más antigua y menor valor catastral, se seleccionan las que además presentan alto índice de envejecimiento y/o población sin estudios. Esto permitió un cierto reajuste sobre la geografía inicial con datos procedentes de Catastro y Padrón Municipal 2014.

Durante el periodo de información pública, hasta el 22 de Abril se presentaron 43 alegaciones de las que se estimaron total o parcialmente 39. El 11 de mayo de 2016 se aprobó definitivamente el primer Mapa de APIRUs, Áreas Preferentes de Impulso a la Regeneración Urbana, en el que se identificaron finalmente 112 áreas y que agrupan un 38% de la población del municipio de Madrid.

A finales de 2016 se inicia la elaboración de un nuevo indicador, el indicador de renta, que se considera fundamental al objeto de la estrategia. Se apoya en los datos de renta bruta disponible per cápita del distrito y se realiza una estimación a nivel de sección censal atendiendo a ciertas variables como son afiliados a la seguridad social, tasa de paro, impuesto de vehículos de tracción mecánica, valor catastral de inmuebles y padrón de habitantes.

En 2017, con este quinto indicador de la renta y recogiendo las solicitudes recibidas de algunas áreas para ser incluidas en el Mapa, se han incrementado los límites de 21 de los APIRUs definidos en 2016, y se han sumado 8 nuevas áreas, siendo en total 120 APIRUs que suponen una superficie de 3.689 Has que afectan a 1.250.000 habitantes, lo que representa el 40 % de la población municipal.

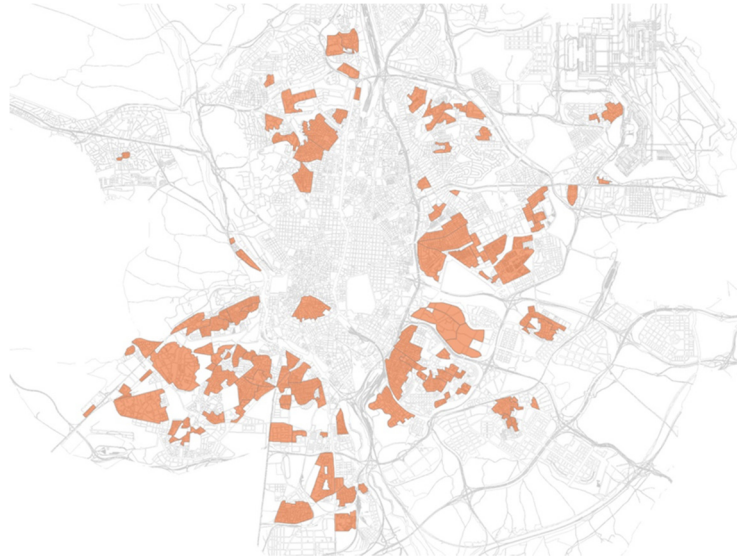


Figura 2. Mapa de APIRUs.

## Definir la estrategia

El primer aspecto diferenciador de la estrategia era el ámbito de actuación, frente a modelos obsoletos que centraban su esfuerzo organizativo y económico en un ámbito muy limitado y sólo en ese, este Plan se extiende a esas 120 APIRUs que reúnen 590.747 viviendas, que alojan al 40 % de la población municipal.

Además se centra en las áreas con menores ingresos y viviendas poco adecuadas para las condiciones climáticas. Sus objetivos fundamentales son mejorar el confort y las condiciones de habitabilidad de los edificios de vivienda de estas áreas, siempre con criterios de mejora de la accesibilidad y de la eficiencia energética.

Otra importante novedad es que el plan está destinado a edificios residenciales, comunidades de vecinos, no a viviendas independientes ni edificios de propietario único, salvo en el caso de viviendas unifamiliares.

Una situación demasiado frecuente en estas zonas vulnerables, es la de ciudadanos que pasan los últimos años de su vida sin poder bajar a la calle por carecer su edificio de las necesarias condiciones de accesibilidad. Conviene recordar que en Madrid existen cerca de 43.000 edificios de más de 3 plantas sin ascensor, aproximadamente un 40% del total. Esta circunstancia deja a las personas mayores o con movilidad reducida sólo dos opciones: no salir de su casa o irse a vivir alejados de su entorno y de sus familiares, lo que va en contra de las condiciones mínimas de habitabilidad, salud y dignidad.

Además la ciudad de Madrid cuenta aproximadamente con 1,5 millones de viviendas, de las cuales, un 70% son anteriores a 1980, fecha a partir de la cual se comienzan a aplicar la primera norma técnica de aislamiento en edificios. Si en los próximos años se consigue rehabilitar energéticamente esas viviendas se alcanzarían ahorros de energía de hasta un 75% en el municipio, además de contribuir a disminuir muertes prematuras por malas condiciones de salubridad y cumplir con los objetivos europeos orientados a equilibrar la fuerte expansión promotora de los últimos años y el insuficiente mantenimiento y conservación del parque inmobiliario ya construido.

En general, la parte de la población que tiene mayores dificultades para pagar los recibos de la energía, es justamente la que habita en viviendas de peor calidad y la que carece de medios para acometer una rehabilitación que le permita paliar esta situación y poner freno al derroche de energía.

Por ello la estrategia optó por potenciar las ayudas para la mejora de la eficiencia energética. La ayuda para eficiencia energética está condicionada a incrementar al menos una letra la calificación energética inicial del edificio reduciendo la demanda de calefacción, o a reducir un 30% la demanda de calefacción, es decir actuando en la envolvente, colocando aislamiento térmico o fachadas ventiladas, sustituyendo carpinterías y vidrios por otros más eficientes, y otras medidas pasivas, protecciones solares, etc. Una vez alcanzada la mejora de una letra en la demanda con la

actuación en la envolvente (fachadas y cubiertas), la ayuda se extiende a la sustitución de equipos por otros más eficientes, la incorporación de energías renovables de cualquier tipo, e incluso cubiertas verdes u otras mejoras.



Figura 3. Plan MAD-RE.

Este ahorro energético no representa sólo un beneficio individual, sino que contribuye a reducir a nivel estatal las importaciones de energía primaria y reduce la emisión de gases de efecto invernadero, lo que nos acerca a cumplir los objetivos del COP21 y otros compromisos internacionales.

En la convocatoria 2017 se ha implementado una ayuda social, pensada especialmente para aquellos vecinos y vecinas que podrían verse en una situación muy comprometida para poder hacer frente a los pagos de las partes no subvencionadas.

Para generar la confianza necesaria en los ciudadanos se decidió que el 50% de la ayuda se abonase en el momento de iniciar las obras. Con esta medida se consigue paliar el desembolso inicial que conllevan estas obras y ayudar a que técnicos y constructoras puedan facilitar la financiación con la garantía del cobro inicial.

Otro aspecto diferenciador del Plan MAD-RE es que no quiere imponer, quiere convencer, quiere generar confianza y ayudar. El Plan MAD-RE no quiere obligar y generar problemas a vecinos y vecinas sin medios económicos suficientes, por eso el Plan MAD-RE deja que sea cada uno el que decida lo que quiere hacer y cuando hacerlo, en función de sus necesidades y sus posibilidades.

## La cuantía de las ayudas

Era importante, teniendo en cuenta las áreas de actuación, plantear ayudas de cuantía suficiente para que los vecinos pudiesen actuar con un esfuerzo razonable para su economía.

Las ayudas para eficiencia energética son del 50% si se incrementa una letra la calificación energética inicial, o se disminuye un 30% la demanda de calefacción, actuando siempre en la envolvente ó del 60% si se incrementan dos letras la calificación energética, o se disminuye un 50% la demanda de calefacción, con un máximo de 8.000 €/vivienda en ambos casos.

Pero también se potencian las actuaciones de eficiencia energética en envolventes reduciendo las ayudas a conservación, donde sólo se financia el 35% y sólo cuando se interviene en menos del 25% de la envolvente, incentivando que cuando se inician obras importantes en una comunidad de vecinos se opte por colocar medidas de eficiencia energética, que van a mejorar las condiciones térmicas interiores y a ahorrar energía en esas viviendas, frente a simples obras de reparación.

Un aspecto importante de estas ayudas es que se incluye también ayuda para el IVA en la misma proporción de la subvención correspondiente, el IVA para las comunidades de vecinos supone un gasto importante al ser finalistas y no poder desgravárselo. Se incluye también ayudas para los honorarios profesionales y tasas administrativas, de forma que están contemplados todos los gastos.

Otra novedad del plan MAD-RE de rehabilitación de 2017 es el incremento de un 5% en la subvención final si se interviene conjuntamente en 5 o más comunidades del mismo APIRU, con una actuación similar, con el mismo técnico y la misma constructora, incentivando de esta forma las intervenciones de mayor escala.

En la convocatoria 2017 la ayuda social, aplicable a aquellos vecinos y vecinas en situación más vulnerable, es del 90% del presupuesto total subvencionable.

La partida presupuestaria para la convocatoria 2016 fue de 24 M€, que fueron insuficientes para el número de solicitudes recibidas. La partida presupuestaria para la convocatoria 2017 es de 49.731.990 M€, ampliable hasta un 100% más, es decir casi 100 M€, concretamente 99.463.980 M€.

Este Plan se suma a cualquier otra ayuda que quiera mejorar las condiciones económicas. Así algunos distritos han querido destinar también Fondos de Reequilibrio Territorial FRT a la rehabilitación de sus barrios, Barajas ha destinado 1,8 M€ a complementar las ayudas del plan de rehabilitación, destinadas al barrio del Aeropuerto, y Usera ha destinado casi 1 M€, a incrementar la ayuda para la rehabilitación de las fachadas de hormigón de Orcasitas con graves problemas en el material y en eficiencia energética.

Sería estupendo contar con ayudas de otras administraciones para sumar.

## La información y la difusión

Lo que parecía más difícil era convencer a los vecinos de que el Plan MAD-RE está destinado a la mejora sus viviendas y que el esfuerzo económico que les iba a suponer estas intervenciones lo iban a compensar rápidamente con la mejora de sus condiciones de vida.

Frente a la experiencia de las oficinas de rehabilitación, que suponían un elevado coste teniendo en cuenta la extensión de las APIRUs, y que no era el modelo de participación que se pretendía, se diseñó una estrategia de comunicación directa con los vecinos y vecinas, siguiendo el modelo del urbanismo participado.

Para terminar, contamos con una oficina móvil que durante dos meses fue recorriendo todas las APIRUs atendiendo las consultas de los vecinos y vecinas de cada barrio. En total se alcanzó a más de doce mil vecinos.



Figura 4. Reuniones con vecinos.



Figura 5. Autobús de oficina móvil Plan MAD-RE que atendió a más de 12.000 consultas.

## Los resultados del Plan MAD-RE 2016

Los resultados del Plan MAD-RE 2016 confirman ampliamente el diagnóstico realizado para su concepción y en el que se basaron las bases del mismo. En los cinco meses desde el 9 de julio de 2016 hasta el 30 de noviembre de 2016, se han recibido 1.475 solicitudes, que agrupan a 24.552 familias, cifra que da idea de la complejidad de la gestión de este Plan.

En cuanto a las necesidades de los ciudadanos, un 68% han solicitado ayudas para accesibilidad, un 22% para eficiencia energética y un 10% para conservación. El bajo porcentaje de solicitudes en conservación demuestra que ha funcionado la estrategia.

La prevalencia de las obras de eficiencia sobre las de conservación es una buena noticia. En los últimos años el esfuerzo realizado por la rehabilitación no ha estado a la altura de las necesidades reales, y los ciudadanos han llegado a creer que rehabilitar la envolvente de su edificio no era técnica ni económicamente viable. Algo que afortunadamente no han creído los vecinos de nuestra ciudad.

La intervención en la envolvente térmica de los edificios es la única manera de mejorar las condiciones de climatización y confort, aún en ausencia de equipos o de medios económicos para hacer frente al gasto que supone pagar la energía que consumen los equipos, incluso los más eficientes. El ideal sería llegar a los edificios de consumo casi nulo que hicieran posible no necesitar equipos.

Como debilidad a corregir es que no hay ninguna solicitud para incorporar energías renovables por lo que en la campaña de 2017 este será un mensaje a reforzar. Esperemos que coincida con la deseada modificación del Decreto de Autoconsumo eléctrico.

Las solicitudes recibidas en 2016 suponen una inversión de 78 M€, de los cuales 40 M€ serán cubiertos por las ayudas municipales. Con esta inversión se prevé la creación de más de 4.500 puestos de trabajo.

Medioambientalmente la mejora energética de las 5.400 viviendas con medidas de eficiencia energética en los edificios supondrá un ahorro de 65.633.573 de kW de energía primaria no renovable, y se dejarán de emitir a la atmósfera más de 15.332 Toneladas de CO<sub>2</sub> al año,

En el primer plazo de la convocatoria 2017, desde el 22 de julio hasta el 14 de agosto se han recibido 924 solicitudes, lo que demuestra que la rehabilitación es posible, que este modelo es acertado y que los vecinos y vecinas quieren adecuar sus viviendas a sus necesidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Hay que agradecer a la Federación Regional de Asociaciones Vecinales de Madrid FRAMV y a las asociaciones vecinales su apoyo para la difusión del Plan, la organización de asambleas y su trabajo para ayudar a los vecinos y vecinas en el proceso. También a todos los técnicos municipales que han hecho posible que el Plan saliera adelante, no sólo con su trabajo, también con su entusiasmo y su ayuda para vencer las dificultades que este Plan novedoso planteaba.



# REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS - CÓMO MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA Y COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO

**Gloria Gómez Muñoz**, Arquitecta, Cc60 estudio de arquitectura  
**Isabela Velázquez Valoria**, Consultora y arquitecta urbanista, Gea21  
**Georgios Tragopoulos**, Técnico de Eficiencia Energética y Movilidad, WWF España

**Resumen:** La calidad de vida de los ciudadanos, y especialmente de los grupos sociales más vulnerables, depende en gran medida de la calidad de las viviendas y de las condiciones climáticas. Así mismo, es evidente que mientras el cambio climático avanza, una parte mayor de la sociedad española entrará en situación de vulnerabilidad monetaria, sanitaria y energética, ya que sus viviendas necesitarán cada vez más energía para mantener las condiciones de confort. Para WWF es evidente que la rehabilitación energética de las viviendas puede ser el factor determinante que mejore la habitabilidad de las viviendas y la calidad de vida de la ciudadanía, rebajando simultáneamente costes para el sistema sanitario. Además, la rehabilitación debe ser a partir de ahora una política social que responda a las necesidades socioeconómicas específicas de las diferentes provincias españolas, fomentado así el sector y asegurando que los fondos públicos se canalicen hacia las franjas de la sociedad que más los necesitan. De esta manera la rehabilitación puede ser parte del nuevo modelo urbano que hemos de construir, un modelo bajo en emisiones de carbono, más sostenible, inclusivo y equitativo, como está recogido por los objetivos del desarrollo sostenible y por la nueva agenda urbana de las Naciones Unidas, Hábitat III.

**Palabras clave:** Rehabilitación Energética, Vivienda, Salud, Cambio Climático, Fenómenos Climáticos Extremos, Pobreza Energética

## INTRODUCCIÓN

La COP de París ha dejado claro que la humanidad se enfrenta a uno de los retos más importantes de su historia: el cambio climático. También ha puesto en evidencia que para combatirlo tenemos que trabajar todos juntos, ayudando a los más débiles y vulnerables y tomando cada uno la responsabilidad que le corresponde según su capacidad económica y el impacto de sus actividades. Hemos alcanzado un aumento de la temperatura media de 1°C en relación con los valores preindustriales, lo que significa que algunos de los efectos del cambio climático son ya inevitables y tenemos que prepararnos para que la adaptación sea lo menos abrupta posible.

Uno de los retos más importantes que tendremos que abordar es el impacto del cambio climático en la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ya lo reconoció en 2008 y puso de manifiesto la necesidad y la urgencia de desarrollar medidas adecuadas e integrarlas en los planes de adaptación. No faltan razones y evidencias para ello. La ola de calor del verano de 2003 causó unas 15.000 muertes adicionales en Francia, pero no es el único fenómeno que ha aumentado o ha empezado a cambiar patrones a lo largo de las dos últimas décadas y que, directa o indirectamente, y en consonancia con otros determinantes, afectan de manera negativa a la salud humana.

WWF España trabaja desde hace años para cambiar el modelo de desarrollo y promover la transición hacia un modelo energético eficiente y limpio, elemento clave para conseguir una economía de menor consumo energético y bajas emisiones de gases de efecto invernadero. A través de distintos proyectos, WWF ha puesto ya de manifiesto la necesidad de rehabilitar energéticamente los edificios residenciales para reducir el consumo energético y por tanto las emisiones de gases contaminantes (el residencial produce al año el 66% de las emisiones del sector de la edificación), pero también porque ve claro el vínculo entre la mejora de la habitabilidad de las viviendas y la calidad de vida de las personas.

## DESCRIPCIÓN

### Salud, vivienda y cambio climático: situación de partida

Los factores que determinan la salud humana son la biología, el entorno, los hábitos y los servicios de salud. En el “entorno” se engloban el hábitat y la vivienda, así como su relación con la edad y los impactos del cambio climático en nuestro país. España es uno de los países europeos que se verá más afectado por el cambio climático. El incremento progresivo de las temperaturas medias, la mayor frecuencia de anomalías térmicas, especialmente de las máximas estivales, la disminución de las precipitaciones y el aumento de los fenómenos climáticos extremos (olas de calor o de frío, lluvias torrenciales, etc.) son tan solo algunas de las características que componen un posible escenario futuro.

Así mismo, España dispone de un parque residencial en su mayoría obsoleto en cuanto a la calidad constructiva y la eficiencia energética. Un 75% de los 18 millones de viviendas principales fueron construidas entre 1960 y 2007, lo que significa que no cumplen con ninguna regulación sobre eficiencia energética en los edificios (1961-1979), o bien cumplen con unos niveles de eficiencia y habitabilidad muy bajos en comparación con los estándares de confort de hoy en día. Este hecho y su correlación con la imposibilidad de casi 3,3 millones de hogares de mantener la temperatura de confort en invierno y de 4,5 millones en verano por razones socioeconómicas llevan a unas condiciones de vida de mayor vulnerabilidad frente a las condiciones climáticas, algo que se agravará según avanza el impacto del cambio climático en el país.

Además, la población española está cada vez más envejecida. En 2015 el porcentaje de la población de más de 65 años era de 16,5%, mientras que para 2029 este porcentaje alcanzará el 25% de la población y en algunas provincias superará al 30%. Este grupo social es muy vulnerable a los fenómenos climáticos extremos.

En resumen, las condiciones para la salud humana relacionadas con las viviendas en España son:

- La falta de adecuación del parque residencial existente, en su mayoría, para cumplir con los objetivos de confort climático de los vecinos actual y futuro.
- La alta tasa de envejecimiento de la población española, un grupo social con una mayor morbilidad estructural y una menor capacidad de adaptación o aclimatización a las nuevas condiciones climáticas, que previsiblemente se va a acentuar los próximos años.
- La imposibilidad de muchos hogares de hacer frente a los gastos de mantenimiento y conservación de las viviendas y de climatización tanto en invierno como en verano.

## Impactos

Estos factores, muy visibles ya en nuestro país, no solo tienen una huella social, sino también monetaria, ya que los efectos en la salud tienen un impacto directo en el sistema sanitario y social, aunque su cuantificación es difícil de determinar con exactitud por la falta de datos.

La OMS atribuye un 30% de la mortalidad adicional en invierno a las condiciones inadecuadas de las viviendas, un porcentaje que, en el caso de España y en consonancia con otros estudios, puede suponer al año la muerte de 838 personas durante el periodo invernal. Apenas hay estudios que ofrezcan datos sobre el impacto de las condiciones interiores de las viviendas en la mortalidad en periodos cálidos. Si aplicamos el mismo porcentaje (30%) para el periodo estival, se puede estimar una cifra anual de 1.328 muertes por esta causa. Se destaca aquí que las comunidades autónomas que más mortalidad presentan en los meses fríos no son las que tienen climas más extremos. El primer lugar lo ocupa Andalucía (234), seguida por Galicia (99) y Castilla y León (70). El verano tampoco es liderado por la comunidad más cálida, ya que la mayoría de las muertes se registran en Madrid (229), seguida por Andalucía (210) y Cataluña (170). Una explicación a estos datos es que las viviendas no suelen estar adecuadas para hacer frente a situaciones climáticas extremas no habituales en su localización, lo que conduce a que en los climas cálidos la mayor parte de las viviendas no estén suficientemente aisladas y no dispongan de instalaciones de calefacción a pesar de que hay periodos fríos, y en las zonas con climas fríos las viviendas no dispongan de condiciones adecuadas para evitar el sobrecalentamiento.

	Muertes al año atribuibles a olas de frío (2000-2009). Capitales de provincia	Muertes al año atribuibles a olas de calor (2000-2009). Capitales de provincia	Tasa de riesgo de pobreza 2015. Nivel CCAA	Porcentaje de viviendas anteriores a 1980	Porcentaje de población mayor de 65 años en 2015	Porcentaje de población mayor de 65 años en 2029
Barcelona	33	121	14%	62 %	15 %	21%
Madrid	57	229	15%	56%	13%	25%
Valencia	29	45	25%	60%	15%	22%
Alicante	0	51	25%	42%	15%	20%
Sevilla	59	63	36%	52%	13%	28%

Oviedo	38	33	17%	58%	22%	25%
A Coruña	29	47	19 %	51%	20%	25%
Bilbao	10	74	11%	77%	18%	29%
Málaga	57	3	36%	46%	1%	33%
Murcia	7	5	32%	41%	12%	23%
España	831	1.328	14%	53%	15%	25%

Tabla I. Mortalidad por ola de calor y frío, riesgo de pobreza, viviendas anteriores a 1980 y población mayor de 65 años en 10 capitales de provincias. (Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 2001; INE, 2011; INE, 2015; Diaz et al., 2015).

## Escenarios de futuro

La evolución de los factores como la pobreza energética y monetaria, la vulnerabilidad por grupo de edad, la evolución del cambio climático y el número de personas afectadas en un futuro muy cercano dependerá de las políticas públicas que se diseñarán para abordar estos problemas. Las siguientes gráficas demuestran una serie de escenarios de evolución de estos factores y su impacto sobre la salud de los grupos sociales afectados.

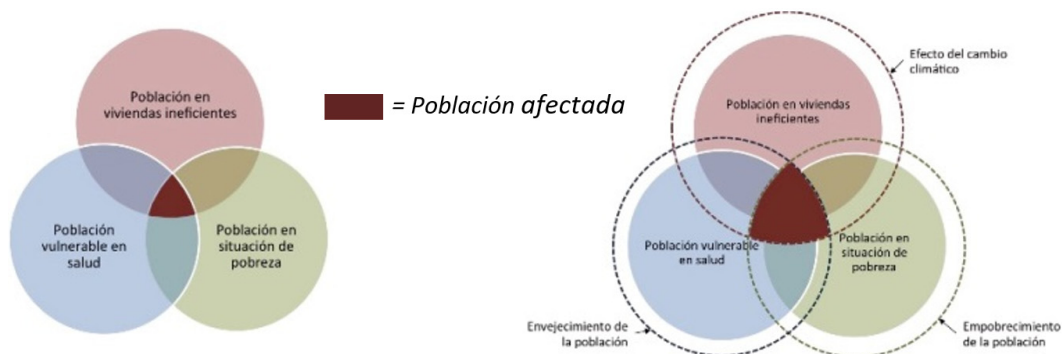


Figura 1. Factores vivienda, salud y pobreza (izq.) y el escenario previsto de evolución de la población y de cambio climático (dcha).

Las gráficas demuestran cómo la situación actual puede empeorar en el futuro (figura 1) por el efecto de los factores expuestos anteriormente, poniendo en situación de vulnerabilidad a una parte cada vez mayor de la sociedad. Para revertir esta situación son necesarias políticas de eficiencia energética y habitabilidad de las viviendas que respondan al impacto del cambio climático y políticas sociales que tengan como objetivo la reducción de la pobreza en nuestro país (figura 2). Estos dos ámbitos se pueden integrar en programas de mejora de la habitabilidad de las viviendas con criterios sociales que ayuden a esa porción de la población que por su situación socioeconómica es más vulnerable.

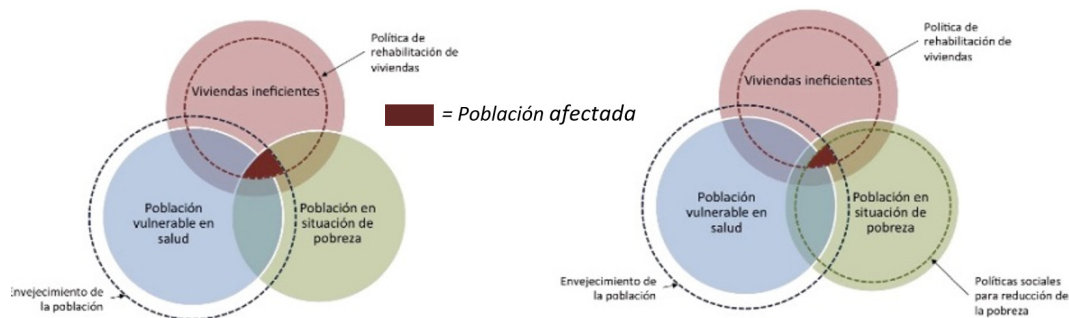


Figura 2. Factores vivienda, salud y pobreza según escenario de rehabilitación masiva de viviendas (izq.) y con simultáneas políticas de lucha contra la pobreza (dcha).

## METODOLOGÍA

Los elementos que determinan el impacto sobre la salud de las condiciones de las viviendas (calidad de las viviendas, vulnerabilidad de la población y baja renta) permiten elaborar una matriz que identifica aquellas regiones en las que actualmente se dan las circunstancias que provocan un mayor impacto sobre la salud por las condiciones de las viviendas. Si a estos datos se añaden las previsiones de cambios demográficos por envejecimiento de la población y datos que describan el impacto del cambio climático, se pueden identificar las zonas con mayor vulnerabilidad. Esto permitiría definir las estrategias más adecuadas en función de la previsible evolución de cada uno de estos indicadores.

Los indicadores que se han considerado son los siguientes:

- Población > 65 años (Media de las provincias en 2015: 15,61%; Mediana de las provincias en 2015: 17,15%)
- Viviendas construidas antes de 1980 (35 años de antigüedad) (Media de las provincias en 2015: 52,94%; Mediana de las provincias en 2015: 50,86%)
- Mortalidad asociada a las olas de frío (Media de las provincias para el periodo 2000-2009: 85 muertes por cada millón de habitantes; Mediana de las provincias para el periodo 2000-2009: 58 muertes por cada millón de habitantes)
- Mortalidad asociada a las olas de calor (Media de las provincias para el periodo 2000-2009: 117 muertes por cada millón de habitantes; Mediana de las provincias para el periodo 2000-2009: 95 muertes por cada millón de habitantes)
- Días de ola de frío 2000-2009
- Días de ola de calor 2000-2009

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

Según lo expuesto anteriormente, las provincias se pueden caracterizar según el factor que predominantemente describe su situación. En función de esta circunstancia, serán diferentes las estrategias y soluciones para reducir el impacto sobre la salud debidas al comportamiento de las viviendas. De esta manera podemos establecer la siguiente clasificación:

Agrupación de características provinciales comunes	Provincias (ejemplos representativos)	Estrategias
Provincias con población envejecida y tasa de pobreza por debajo de la media en España (22,1%).	Asturias, Ávila, Cantabria Lugo, Burgos, A Coruña, León, Ourense, Pontevedra, Salamanca Segovia, Soria, Tarragona, Teruel, Valladolid Palencia, y Zamora.	Orientar las políticas de rehabilitación de viviendas hacia las personas mayores con cierta capacidad económica de abordar las obras, pero definiendo soluciones adecuadas a su situación y posibilidades económicas y de gestión.
Provincias con elevada antigüedad del parque de viviendas principales y baja tasa de pobreza energética.	Álava, Baleares, Bizkaia, Gipuzkoa, Girona, Lleida, Navarra, La Rioja y Tarragona.	Abordar la rehabilitación de las viviendas mediante un programa de ayudas orientado a ventajas fiscales o soluciones similares y menos orientado a ayudas a fondo perdido.
Provincias con Población envejecida y tasa de pobreza elevada. Viviendas antiguas dentro de la media española (53%).	Albacete, Cáceres, Cádiz, Castellón, Ciudad Real, Cuenca, Granada, Guadalajara, Las Palmas, Santa Cruz de Tenerife y Toledo.	Las estrategias de rehabilitación tienen que responder de manera integral a la situación socioeconómica de la población (subvenciones a fondo perdido, deducciones fiscales, etc.).
Provincias que se verán afectadas especialmente por los efectos del cambio climático. La mortalidad por ola de calor es muy elevada y se espera que en las próximas décadas aumente por el incremento de la duración y la intensidad de las olas de calor.	Alicante, Almería, Badajoz, Barcelona, Córdoba, Huelva, Huesca, Jaén, Madrid, Málaga, Murcia, Sevilla, Valencia, Zaragoza Ceuta y Melilla.	Es importante que las estrategias de rehabilitación que se realicen tengan en cuenta el impacto del cambio climático y prevean las necesidades de refrigeración en el futuro.

Tabla II. Propuestas de Estrategias de Rehabilitación según características socioeconómicas, etarias, edificatorias y climáticas.

## DISCUSIÓN

Según los indicadores expuestos, las políticas relacionadas con la rehabilitación energética de las viviendas no pueden ser indiscriminadas, sino tener un público objetivo concreto para poder alcanzar un impacto social, climático y económico de mayor alcance. Actualmente existen muy pocos datos que estimen los costes económicos para la sanidad derivados de las condiciones de inhabilidad de las viviendas. Los estudios en España se centran en la efectividad de los planes de prevención en olas de calor y frío y utilizan los valores de investigaciones en otros países. De esta manera se asume que cada muerte evitada supone 1,1 años con un coste de 0,11 M€ por año de vida. Estudios en otros países señalan que los beneficios derivados de la rehabilitación energética de las viviendas son múltiples. Además del impacto directo sobre los habitantes que ya no están expuestos a bajas o altas temperaturas, la reducción de emisiones de gases contaminantes por un menor uso de los sistemas de climatización supone una mejora directa de la calidad del aire. Otros efectos positivos son la disminución de las visitas a los servicios de urgencias y de la hospitalización, así como el absentismo laboral y escolar por enfermedad. No existen datos que permitan cuantificar económicamente todos estos beneficios.

## CONCLUSIONES

WWF considera que la rehabilitación debe ser parte del nuevo modelo de desarrollo que debemos construir. Un modelo que se dicta por los objetivos del desarrollo sostenible y por la Nueva Agenda Urbana de las Naciones Unidas. Por tanto, es importante mirar la rehabilitación energética y la regeneración de los edificios y barrios no como una actuación meramente monetaria, que su éxito depende solamente del coste, el beneficio y la amortización de la inversión, sino como una actuación de mejora de la calidad de vida de la sociedad en su conjunto, que tenga beneficios mucho más allá que un proyecto de construcción. Con este fin, es importante incorporar los enfoques y objetivos de salud en las políticas públicas de vivienda, especialmente en las estrategias de rehabilitación, además de integrar la adaptación y la resiliencia de las viviendas al cambio climático como un apartado específico recogido en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Así mismo, es necesario fomentar la investigación sobre la incidencia del cambio climático en el comportamiento de las viviendas, el impacto de las medidas de eficiencia energética y mejora de las condiciones de accesibilidad y habitabilidad y los efectos sobre la salud de las olas de frío y calor. Además, crear equipos mixtos y espacios híbridos de intercambio de conocimiento, que integren expertos en salud pública con

arquitectos y otros profesionales del sector de la rehabilitación para el diseño y la realización de intervenciones de rehabilitación en las viviendas. Así mismo, es de crucial importancia integrar en las políticas de rehabilitación enfoques específicos centrados en los sectores más vulnerables de la población, teniendo en cuenta que deben ser gratuitas y ágiles en comunicación y gestión y adaptadas a sus necesidades específicas. En este sentido hay que fomentar los procesos participativos de la ciudadanía en cada distrito y barrio para conocer en profundidad los problemas que afronta y actuar asegurando la protección e inclusión de los grupos más vulnerables.

## REFERENCIAS

- (AEMET 2016) Olas de calor en España desde 1975. Área de Climatología y Aplicaciones Operativas
- (AEMET 2016). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España.
- (Asociación de Ciencias Ambientales, 2014). “Pobreza, vulnerabilidad y desigualdad energética”
- (Carmona et al 2016). «Temperaturas umbrales de disparo de la mortalidad atribuible al frío en España en el periodo 2000-2009. Comparación con la mortalidad atribuible al calor»
- (Chapman et al, 2008). Retrofitting houses with insulation: a cost–benefit analysis of a randomised community trial. *J Epidemiol Community Health* 2009; 63:271–277. doi:10.1136/jech.2007.070037
- (Comisión Europea, 2009). Solidarity in Health: Reducing health inequalities in the EU.
- (Cuchí y De la Puerta 2016). Diagnóstico de la Rehabilitación en las Comunidades Autónomas. Grupo GTR. GBCe y Fundación CONAMA.
- (De Luxán, et al 2008) Estudio para la definición de parámetros con criterios prestacionales que establezcan condiciones de habitabilidad en las viviendas. Ayuntamiento de Madrid
- (Díaz et al 2005) Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública: Futuras actuaciones. *Revista Especial Salud Pública* 2005; 79: 145-157.
- [http://awsassets.wwf.es/downloads/RehabilitacionEnergeticaViviendas\\_\(completo\).pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/RehabilitacionEnergeticaViviendas_(completo).pdf).

# ALVÁREZ MENDOZA 1914: SOLUCIONES PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO PROTEGIDO

Ana Isabel Menéndez Suárez, Gerente, EFINCO

**Resumen:** Álvarez Mendoza 1914 es un edificio con graves problemas de deterioro que afectan tanto a su fachada como al interior, encontrándose en estado de ruina, se sitúa cerca de la playa en pleno corazón de la ciudad costera de Gijón (Asturias). Construido en el año 1914 ha pasado de mano en mano hasta la reciente adquisición por parte de la promotora Goya Intercontinental al Banco Popular. El objetivo planteado ha sido volver a poner en circulación el edificio, dotándolo de otra nueva vida útil, con la aplicación de los criterios de confort y bajo consumo actuales, pero con la estética y presencia de sus años de esplendor. La mayor dificultad de este proyecto ha sido mantener la fachada exterior protegida sobre la que gira toda la nueva distribución de viviendas, su integración en la nueva estructura y la eliminación de puentes térmicos.

**Palabras clave:** Ahorro, Rehabilitación Energética, Confort, Energía Renovable, Construcción, Eficiencia Energética

## DE ESTADO RUINOSO A EDIFICIO EMBLEMÁTICO

El edificio Álvarez Mendoza 1914 ha sido la gran apuesta de los participantes en este proyecto que han sabido en todo momento utilizar las herramientas a su alcance para transformar un edificio degradado en estado ruinoso, con problemas de salubridad y desprendimientos de fachada en una nueva referencia para la ciudad de Gijón en cuanto a mejora energética. El edificio ha recorrido casi toda la escala de letras poseyendo inicialmente una calificación energética E, hasta llegar a posicionarse entre los mejores edificios de la ciudad con una calificación energética final A, tanto en consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>.



Figura 1. Estado inicial Álvarez Mendoza 1914



Figura 2. Representación final Álvarez Mendoza 1914.

## Introducción a la regeneración urbana

El edificio ha sabido integrarse completamente dentro de la ciudad aplicando criterios de sostenibilidad tanto económica como urbanística basados en los siguientes factores;

- **Situación**, edificio ya existente, con lo que toda la estructura urbana de abastecimientos y saneamientos ya está desarrollada.
- Mantenimiento de **la fachada principal**, la estética de la calle y el barrio no se ven afectados en la rehabilitación. Manteniendo toda la esencia del edificio original.
- **Ampliación de dos alturas** para mayor aprovechamiento de los espacios, el edificio no tenía agotada la edificabilidad, como suele ocurrir en muchos casos en el centro de las ciudades.
- Se ha eliminado un problema de **salubridad y seguridad** ya que el edificio estaba abandonado y corría riesgo de desprendimiento.

- **Revalorización** de la calle, a pesar de situarse en el centro este tramo de la calle se hacía indeseable para el comercio y para los accesos debido a los riesgos antes comentados.

## El objetivo

El objetivo propuesto ha sido mantener la estética original al mismo tiempo que obtener una *calificación energética* A, basada en una reducción de la demanda de calefacción superior al 80% con respecto al edificio existente.

DEMANDA CALEFACCIÓN	CLASE	Kwh/m2	Kwh/año
Edif. Existente	E	119,9	261.483,5
Edif. rehabilitado	B	21,9	56.606,4

Tabla I. Cuadro de demanda de calefacción según datos obtenidos en el programa calener-vip, siendo el estado actual calificado como edificio existente y el estado final calificado como obra nueva.

La empresa EFINCO especializada en ejecución y consultoría energética ha conseguido optimizar el aspecto más complejo, mediante el uso de herramientas de simulación, estudiando el comportamiento del edificio, para posteriormente, reducir la demanda de energía del inmueble aportando *soluciones pasivas* en la envolvente y *soluciones activas* en calefacción y ACS que permitirán reducir el consumo final de energía primaria para alcanzar los objetivos de calificación.

Como se aprecia en el siguiente cuadro la mejora final producida en el inmueble en cuanto al consumo de energía supera el 90%, este resultado se ha conseguido con soluciones normalizadas en el mercado.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA TOTAL	CLASE	Kwh/m2	Kwh/año
Edif. Existente	E	222,2	484.690,4
Edif. rehabilitado	A	28,8	75.541,7

Tabla II. Cuadro de consumo de energía primaria total según datos obtenidos en el programa calener-vip, siendo el estado actual calificado como edificio existente y el estado final calificado como obra nueva.

## Fases de diseño; integración de soluciones activas y pasivas

El proyecto ha supuesto la integración de numerosos profesionales y técnicos del sector para diseñar y desarrollar las mejores estrategias integradoras que garantizasen un proyecto basado en la excelencia constructiva.

### Fase I- El estudio inicial. Introducción de la fotogrametría

La normativa urbanística exigía un concienzudo estudio de la fachada del edificio para garantizar y velar por su supervivencia, ya que la fachada se encuentra protegida. Se practicó una fotogrametría que permite detectar visualmente los daños, medirlos, analizarlos y catalogarlos directamente sobre la fotografía de la fachada, lo que facilita notablemente el trabajo posterior de rehabilitación y da una fiabilidad muy superior a los métodos de medición "in situ".



Figura 3. Estado inicial de forjados.

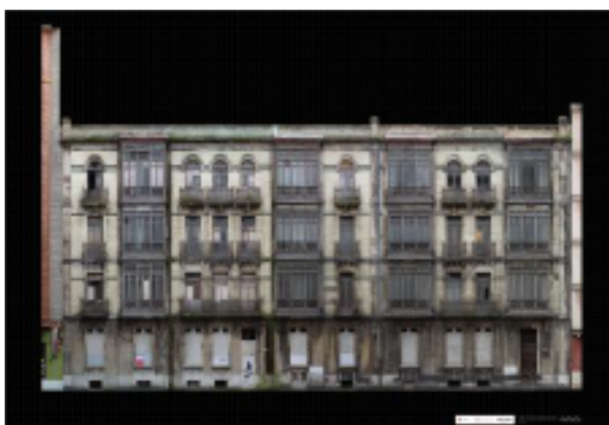


Figura 4. Fotogrametría de fachada.



### **Fase II- Introducción de la eficiencia energética**

Debemos resaltar que el edificio Álvarez Mendoza 1914, no es una simple rehabilitación, sino que el trabajo implica la demolición de cubiertas, forjados y carpinterías existentes, lo que nos permite realizar soluciones que en otro tipo de proyecto no serían viables.

Las soluciones pasivas se tratan de un modo individualizado de cada uno de los elementos expuestos al exterior (fachadas, huecos acristalados y cubierta) para intentar controlar las pérdidas de energía al exterior. Las actuaciones más importantes son:

- Aislamientos continuos por el interior de la fachada y cubierta, realizados gracias a la sustitución del forjado existente de madera por forjado de EPS, que permite reducir el peso de la estructura a la vez de mejorar el comportamiento térmico.
- Tratamiento de los huecos no opacos con carpinterías de madera idénticas visualmente a las existentes, pero con hojas de marco adaptadas a vidrios de altas prestaciones. Combinadas con carpinterías de PVC de altas prestaciones en las plantas añadidas del edificio.
- Reducción y tratamiento individualizado de los puentes térmicos, principalmente en todos los encuentros entre la fachada existente y la nueva estructura. La fachada se anclará a la estructura en puntos, no siendo este acoplamiento continuo y cada punto tendrá un ruptor térmico.

Una vez conseguida la reducción de la demanda de energía según muestra la tabla 1. Se procede al diseño de sistemas activos para la calefacción y agua caliente sanitaria, siempre con un riguroso control de costes y soluciones convencionales.

Las soluciones activas para garantizar el confort en base a las necesidades de los usuarios han sido:

- Sistema de calefacción central con caldera de condensación de gas ciudad. Al reducir la demanda de energía, la potencia de los equipos a instalar se ha reducido en mayor proporción. La solución centralizada permite adecuar una menor potencia total instalada, además la gestión individualiza de consumos permitirá a cada usuario pagar por lo que usen.
- La opción de gas se ha elegido por estructura de costes, puesto que existe acometida de gas y el coste unitario del Kw es bastante más económico que la electricidad y los equipos elegidos son convencionales en el mercado permite contener el coste de ejecución en gran medida.
- Suelo radiante por agua a baja temperatura, que permitirá un reparto más uniforme por toda la superficie del calor. Eliminando la sensación de pies fríos que la calefacción tradicional no puede.
- El suministro de ACS se producirá mediante sistema de aerogenerador con bomba de calor de alto rendimiento. Puesto que la orientación del edificio y el espacio disponible en cubierta dificultan la selección de las placas solares como primera opción.
- Utilización de la ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor que permite ventilar correctamente cada vivienda, pero sin llevar parejo un elevado coste de calefactar esa renovación de aire.

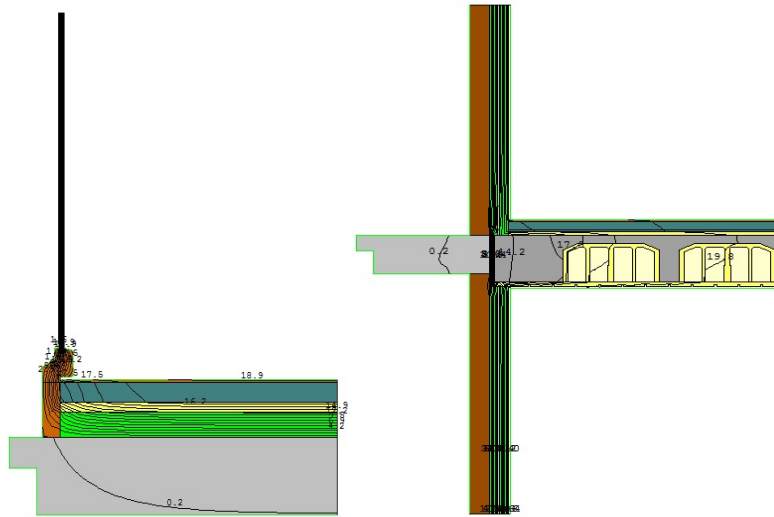


Figura 5. Detalle del cálculo de los puentes térmicos; en la izquierda detalle de encuentro suelo exterior de fachada y a la derecha encuentro detalle de balcón.

Al final, lo que se pretende mostrar es que los edificios pueden ser mejorables utilizando soluciones muy convencionales en cuanto a sistemas activos, siempre y cuando existe un estudio compensado entre la demanda y el consumo.



Figura 6. Cuarto instalaciones convencional.

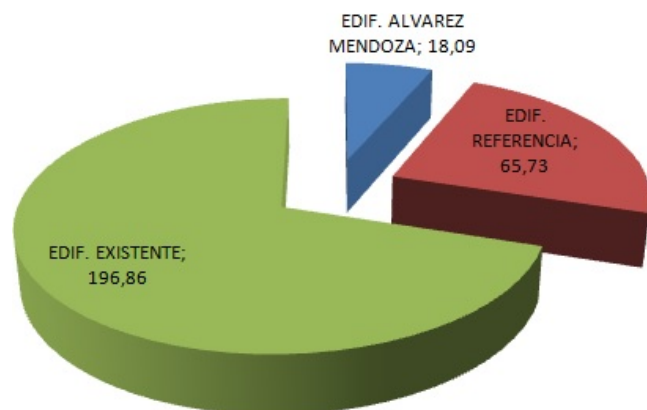


Figura 7. Solera sobre suelo radiante.

## Sostenibilidad; reducción de emisiones de CO2

Cuando se habla de eficiencia también se habla de sostenibilidad puesto que son conceptos complementarios. Si el edificio Álvarez Mendoza 1914. Si no demanda apenas energía, consume solo lo necesario al estar equilibrada la potencia a las necesidades del inmueble, lo que se ha conseguido de forma automática es reducir las emisiones de CO2 a la atmosfera.

Como se observa en la siguiente figura, no hace falta explicar lo que este tipo de proyectos aportan a la sostenibilidad y regeneración urbana de las ciudades y las repercusiones medioambientales que edificios como este aportarán en calidad del aire de las ciudades del mañana.



TONELADAS DE CO2 AL AÑO SEGÚN CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.

Tabla III. Gráfica comparativa entre las emisiones en toneladas del edificio en estado actual (verde), edificio de referencia (rojo) y edificio rehabilitado (azul) según datos proporcionados a través del programa calener vip.

## Resultado final

En la tabla IV se aprecia el comportamiento del edificio una vez implementadas todas las soluciones.

Con respecto al estado actual del inmueble se ahorrará en calefacción (según el programa oficial) con respecto al edificio de referencia un 83,98% más, lo que representaría una **media anual de ahorro de 357,42 euros** (según tamaño de vivienda) al año. Si esta misma comparación la lleváramos a cabo con la situación actual del inmueble suponiéndolo en uso, esta diferencia se agravaría exponencialmente como se ve en la gráfica (diferencia entre edif. Álvarez Mendoza 1914 y edif. Existente) que podría ser de casi 889,16 euros al año.

## COMPARATIVA AHORRO DE CALEFACCIÓN

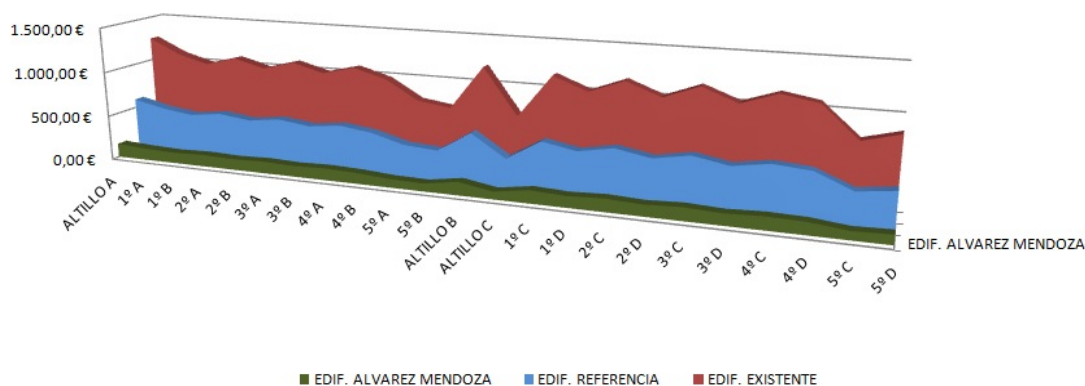


Tabla IV. Consumo de energía en calefacción estimado según m2 de vivienda.

Un **ahorro de 29,78 euros al mes** a día de hoy no significa lo mismo ahora que dentro de 10 años, sino que según avanza el tiempo y que el coste energético vaya aumentando, el **ahorro en la energía que no necesitamos consumir** será mucho mayor. Como se aprecia en la gráfica siguiente, la pendiente de las curvas de ahorro y del edificio de referencia son más pronunciadas que la de nuestro edificio lo que muestra que no se verá tan afectado por los incrementos de energía como si lo hubiéramos diseñado sin atender a la eficiencia energética.

**Evolución del ahorro energético en calefacción a lo largo del tiempo.**

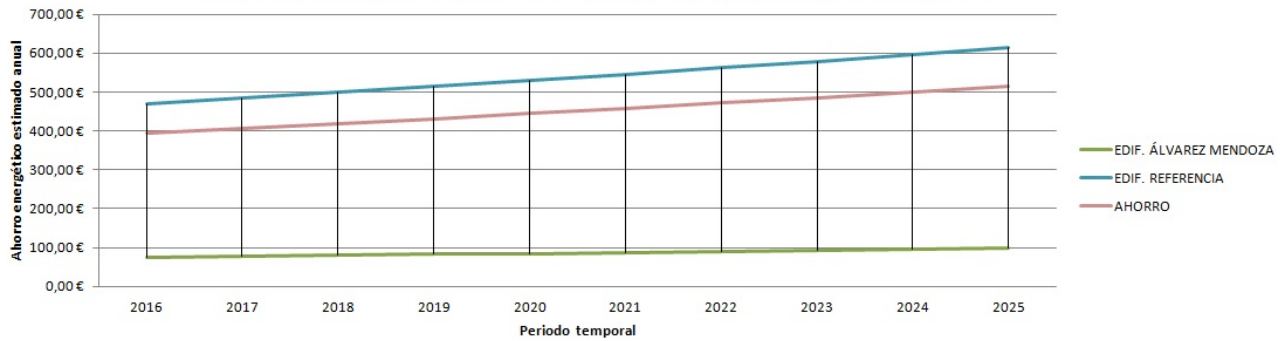


Tabla V. Evolución del ahorro energético en calefacción a lo largo de 10 años en relación al incremento del coste de energía estimado al 2% anual.

**AGRADECIMIENTOS**

A la promotora Goya Intercontinental que ha sabido en todo momento utilizar las herramientas a su alcance para transformar un edificio degradado.

A la empresa EFINCO especializada en proyectos de alta eficiencia energética que ha sabido integrar las necesidades de la promoción con los nuevos requisitos en materia energética

Al arquitecto Antonio Carroquino Izaguirre que ha sabido plasmar las necesidades de la sociedad actual en un edificio de principios del siglo pasado.

# ¿SE ESTÁN REHABILITANDO LOS EDIFICIOS DE VIVIENDAS CON LOS CRITERIOS DE EECN? CASO DE ESTUDIO DE CUATRO EDIFICIOS EN BURGOS

**Raúl Briones Llorente**, Investigador, Área de Máquinas y Motores Térmicos Dpto. Ingeniería Electromecánica, Universidad de Burgos

**Eduardo Montero García**, Catedrático de E.U., Área de Máquinas y Motores Térmicos Dpto. Ingeniería Electromecánica, Universidad de Burgos

**Resumen:** La Unión Europea quiere reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los edificios para contribuir a frenar los efectos del cambio climático. Para ello, se pretenden generalizar los edificios con consumo de energía casi nulo (EECN), pero no se han establecido límites numéricos claros en cuanto a consumos y emisiones. La legislación es aún más confusa si se pretende aplicar dicho criterio a la rehabilitación de edificios existentes. Se han seleccionado dos posibles límites numéricos, uno nacional y otro internacional, y mediante simulación energética, se ha estudiado el comportamiento de cuatro edificios de viviendas que se van a rehabilitar en Burgos, y aunque cumplen con la legislación en materia de ahorro energético, no se pueden considerar EECN.

**Palabras clave:** Edificios Consumo Energía Casi Nulo, Simulación Energética, Rehabilitación

## INTRODUCCIÓN

La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, por ser el principal gas causante del efecto invernadero y del cambio climático, es uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la humanidad en este principio del Siglo XXI. La Unión Europea, ha asumido este reto dentro de las medidas sobre clima y energía hasta 2020, tal y como figura en [1].

Según la Comisión Europea, los edificios residenciales y terciarios son responsables en del 40 % del consumo de energía final en Europa, y de las emisiones de CO<sub>2</sub> que llevan asociadas. Como herramienta para mejorar la eficiencia energética de los mismos, disminuyendo las demandas y consumos de energía, así como las emisiones de CO<sub>2</sub>, ha publicado la Directiva [2], de obligado cumplimiento para los Estados Miembros de la UE.

Fruto de la trasposición de dicha Directiva a la legislación española, y de sus posteriores modificaciones, desde el 15 de junio de 2017 disponemos de la última versión del Documento Básico de Ahorro de Energía DB HE [3], dentro del Código Técnico de la Edificación CTE.

Tanto desde la Directiva [2] como desde el DB HE [3], se promueve el aumento del número de edificios con consumo de energía casi nulo (EECN). Así, los Estados Miembros de la UE se asegurarán de que a más tardar, el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y los nuevos edificios que estén ocupados y sean propiedad de las autoridades públicas, lo serán después del 31 de diciembre de 2018.

Sin embargo, no hay una mención expresa a la rehabilitación de los edificios existentes, que en el caso de España, desde el inicio de la crisis económica y del sector de la construcción en la pasada década, ha cobrado mayor protagonismo sobre la obra de nueva construcción.

Tampoco hay una definición detallada en el DB HE [3] del concepto de EECN, que determine su correspondiente nivel de eficiencia energética, así como el porcentaje de energía requerida que debe estar cubierta por energía procedente de fuentes renovables. Sólo se definen los EECN, como aquéllos con un nivel de eficiencia energética muy alto, en los que la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida la producida *in situ* o en el entorno.

De hecho, la última modificación del DB HE mediante la Orden Ministerial [4], añade más confusión al considerar como EECN aquel que cumple con los requisitos para edificios de nueva construcción en las diferentes Secciones del Documento Básico DB-HE [3]. Así, se podría interpretar que todos los edificios que se están construyendo o rehabilitando son EECN al ser el DB HE [3] de obligado cumplimiento, lo cual parece muy alejado de la realidad.

Partiendo de esta situación, se van a estudiar mediante simulación energética las demandas energéticas de calefacción y de refrigeración de cuatro edificios de viviendas en su estado actual, y en su estado futuro cuando se acometan las obras de rehabilitación energética que figuran en sus correspondientes proyectos de ejecución.

Finalmente, y a falta de referencias numéricas en el DB HE [3], se compararán los resultados obtenidos con los límites que se establecen para alcanzar la Clase A en las escalas de eficiencia energética para uso residencial privado del Documento del IDAE [5], y con los límites que establece el estándar internacional *Passivhaus*, cuyos principales fundamentos figuran en [6].

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Revisión bibliográfica

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de la legislación referente a los EECN en España y en Europa, y los documentos consultados son los citados en la Introducción, y además están expuestos en las Referencias de esta comunicación.

### Descripción de los edificios

Se van a estudiar cuatro edificios de viviendas que están situados en la ciudad de Burgos (España), cuya latitud es de 42° 20' 28" Norte y cuya altitud es de 861 metros sobre el nivel del mar. Tiene un clima continental, con inviernos rigurosos y veranos no muy calurosos. Según el DB HE [3], pertenece a la zona climática E1.

Los cuatro edificios elegidos corresponden a proyectos de rehabilitación que se han elaborado en 2017, y cuyas simulaciones energéticas para justificar el cumplimiento del DB HE [3] y para realizar sus certificaciones de eficiencia energética han sido realizadas por el autor principal de este artículo como consultor externo para otros técnicos que figuran en el apartado de Reconocimientos, y que son los autores de los correspondientes proyectos. De acuerdo con estos últimos, se van a utilizar los resultados de dichos trabajos para la elaboración de este artículo, pero para mantener la privacidad de los propietarios de las viviendas no se va a dar ninguna información que pueda revelar la identidad de los edificios. En la (Tabla I), se muestran las principales características de los cuatro edificios:

EDIFICIO	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	Nº PLANTAS	Nº FACHADAS	Nº MEDIANERAS
A	1950	Baja + 4 + entrecubierta	3	1
B	1955	Baja + 8 + entrecubierta	2	2
C	1984	Sótano + baja + 10 + entrecubierta	4	1
D	1996	Sótano + baja + 3 + entrecubierta	2	2

Tabla I. Características principales de los edificios.

Para conocer las características constructivas de todos los edificios, se han consultado sus respectivos proyectos de ejecución en el Archivo Municipal del Ayuntamiento de Burgos. La información obtenida, se ha contrastado y completado con las correspondientes visitas de campo, y se han realizado los planos y memorias necesarias.

Las simulaciones energéticas se han hecho mediante la Opción General, con el programa informático Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) [7] en su versión 1.0.1564.1124, de fecha 3 de marzo de 2017. En la (Fig. 1) se muestran capturas de pantalla de las modelizaciones en 3D.

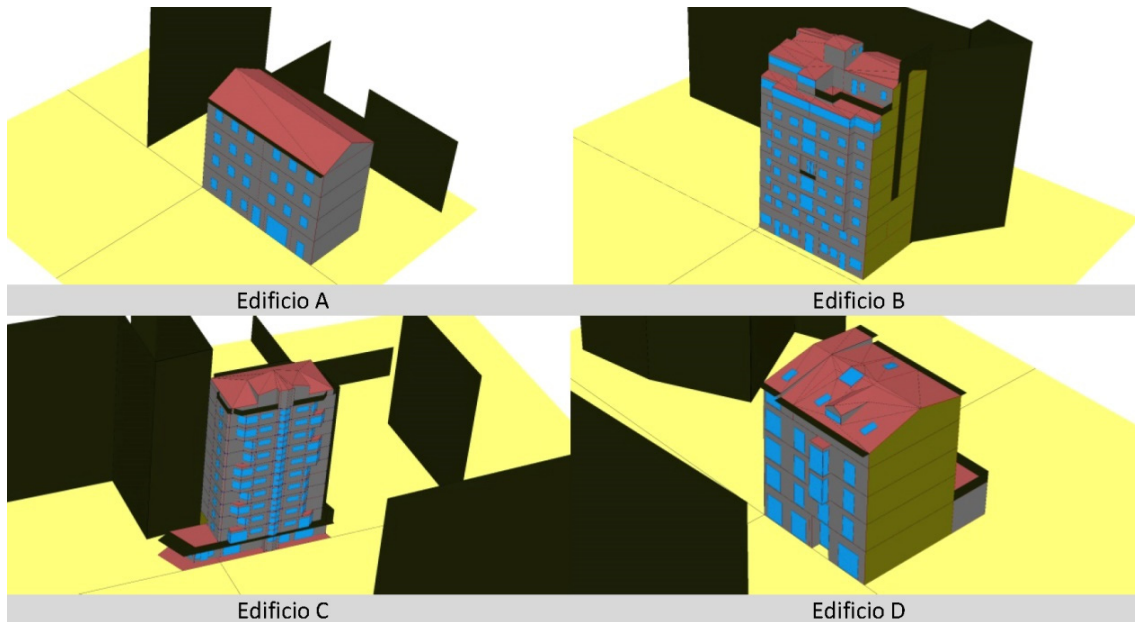


Figura 1. Modelizaciones energéticas de los edificios con HULC.

Seguidamente, se describen en las (Tablas II y III) las intervenciones en la envolvente térmica de cada uno de los edificios. El alcance de las mismas ha sido fijado por los autores de los proyectos de rehabilitación de cada edificio, de acuerdo con los respectivos propietarios. Fundamentalmente, el objetivo es siempre aislar lo mínimo necesario para cumplir con el DB HE [3] y poder optar a las subvenciones de la Junta de Castilla y León o del IDAE, en materia de rehabilitación energética de edificios:

EDIFICIO	FACHADAS	CUBIERTAS
A	Adición de 8 cm de EPS ( $\lambda = 0,029$ W/mK) por el exterior, con morteros base y de revestimiento.	Adición de 8 cm de MW ( $\lambda = 0,040$ W/mK) sobre el suelo de la entrecubierta.
B	Adición de 12 cm de EPS ( $\lambda = 0,032$ W/mK) por el exterior, con morteros base y de revestimiento.	Adición de 10 cm de XPS ( $\lambda = 0,036$ W/mK) entre el forjado inclinado y las tejas.
D	Adición de 6 cm de EPS ( $\lambda = 0,030$ W/mK) por el exterior, con morteros base y de revestimiento.	Adición de 6 cm de XPS ( $\lambda = 0,034$ W/mK) entre el forjado inclinado y las tejas.

Tabla II. Intervenciones en la envolvente térmica de los edificios A, B y D.

EDIFICIO	FACHADAS	SUELOS EN VUELO
C	Adición de 12 cm de EPS ( $\lambda = 0,031$ W/mK) por el exterior, con morteros base y de revestimiento, en planta baja y terrazas descubiertas.	Adición de 6 cm de MW ( $\lambda = 0,036$ W/mK) entre 4 cm de cámara de aire bajo el forjado, y panel de cartón yeso.
	Fachada ventilada con 12 cm de MW ( $\lambda = 0,035$ W/mK), cámara de aire de 3 cm y recubrimiento con placa porcelánica o composite, en las demás fachadas.	

Tabla III. Intervenciones en la envolvente térmica del edificio C.

Los cuatro edificios se han vuelto a simular energéticamente con HULC [7] con las nuevas características de sus envolventes térmicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados

En los cuatro edificios se renueva más del 25 % de su envolvente térmica, y cumplen con lo dispuesto en el DB HE [3] para estos casos, pues sus demandas conjuntas de calefacción y de refrigeración son inferiores a las de sus respectivos edificios de referencia, como se puede ver en la (Tabla IV):

EDIFICIO	DEMANDA ENERGÉTICA CONJUNTA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN (kWh/m <sup>2</sup> ×año)	
	EDIFICIO OBJETO	EDIFICIO DE REFERENCIA
A	75,32	106,78
B	86,65	91,60
C	66,13	82,80
D	46,28	100,28

Tabla IV. Cumplimiento del DB HE [3] por los edificios.

Además, se ha comprobado que no exista riesgo de formación de condensaciones superficiales ni intersticiales en ninguno de los cerramientos en los que se interviene, según el DB HE [3].

En la (Tabla V), se muestran los resultados de las demandas de calefacción (CAL) y de refrigeración (REF) de los cuatro edificios en su estado final, y se comparan con los valores mínimos para:

- Obtener Clase A según el Documento del IDAE [5] para edificios de viviendas en bloque en la zona climática E1:
  - o Calefacción: 15,70 (kWh/m<sup>2</sup>×año).
  - o Refrigeración: no se limita al ser muy baja en esta zona climática.
- Cumplir con el estándar internacional *Passivhaus* [6]:
  - o Calefacción: 15,00 (kWh/m<sup>2</sup>×año).
  - o Refrigeración: 15,00 (kWh/m<sup>2</sup>×año).

EDIFICIO	DEMANDAS (kWh/m <sup>2</sup> ×año)		CLASE A, SEGÚN IDAE (kWh/m <sup>2</sup> ×año)		PASSIVHAUS (kWh/m <sup>2</sup> ×año)	
	CAL	REF	CAL	REF	CAL	REF
A	74,50	1,16	+ 58,50	---	+ 59,50	- 13,84
B	86,18	0,67	+ 70,48	---	+ 71,18	- 14,33
C	64,17	2,81	+ 48,47	---	+ 49,17	- 12,19
D	43,38	4,14	+ 27,68	---	+ 28,38	- 10,86

Tabla V. Comparación de las demandas energéticas de los edificios.

### Discusión

Los cuatro edificios sobrepasan las dos demandas de calefacción límite propuestas, que son similares entre sí, en un rango que va de casi dos veces para el edificio D, hasta unas cuatro veces y media para el edificio B.

Las demandas de refrigeración son muy inferiores a las de calefacción en los cuatro edificios, y están muy por debajo del único límite disponible, el del estándar internacional *Passivhaus*.

A la vista de los resultados, no se deberían considerar EECN a los edificios que cumplan el DB HE [3], sino que habría que imponer condiciones en cuanto a los límites, y a la necesaria implementación de otras medidas además de aislar los cerramientos opacos, como puedan ser la mejora de los huecos, o la ventilación mecánica controlada con recuperador de energía, primando además estos aspectos en las subvenciones que conceden las Administraciones Públicas.



Será indispensable, además, implicar a todos los agentes que intervienen en los procesos de rehabilitaciones edificatorias, desde los técnicos proyectistas, los administradores de fincas o los órganos de inspección y control, para exigir trabajos de calidad con suficiente base científica y técnica, huyendo de soluciones por defecto, que en ocasiones apuntan a otro tipo de intereses.

## CONCLUSIONES

Se han analizado cuatro edificios de viviendas situados en Burgos que se van a rehabilitar en 2017, y aunque cumplen con el DB HE [3], no se deberían considerar EECN.

Es necesaria una legislación más concreta sobre los EECN en España, en la que se cuantifiquen los límites de demanda y consumo de energía, y de emisiones de CO<sub>2</sub>, y donde se impulsen intervenciones globales de rehabilitación energética basadas en un conocimiento riguroso de los edificios y en el uso de herramientas avanzadas de simulación energética.

## AGRADECIMIENTOS

El autor principal de este artículo quiere expresar su agradecimiento a los autores de los proyectos de ejecución de las reformas de los edificios estudiados, cuyas simulaciones energéticas ha realizado para ellos, por permitirle utilizar la información contenida para elaborar esta comunicación:

- Rubén Ganzo Pérez (Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación): Edificios A y D.
- Aurelio González González (Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación): Edificio B.
- El técnico redactor del proyecto del edificio C, ha declinado aparecer en este apartado.

## REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea. Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020 – Disponible en: <[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es)> (Consultado: 25/08/2017).
- [2] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios – Disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>> (Consultado: 25/08/2017).
- [3] Ministerio de Fomento del Gobierno de España. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE Ahorro de Energía – Disponible en: <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html>> (Consultado: 25/08/2017).
- [4] Ministerio de Fomento del Gobierno de España. Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE «Ahorro de energía» y el Documento Básico DB-HS «Salubridad», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo – Disponible en: <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-7163](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-7163)> (Consultado: 25/08/2017).
- [5] Ministerio de Fomento y Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España, e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Calificación de la eficiencia energética de los edificios – Disponible en: <<http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>> (Consultado: 25/08/2017).
- [6] Consejería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo – Disponible en: <[http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM\\_Publicaciones\\_FA&cid=1354388428780&idConsejeria=1109266187242&idListConsj=1109265444710&idPagina=1343067104382&language=es&pagenome=ComunidadMadrid%2FEstructura&site=ComunidadMadrid&sm=1343069714637](http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Publicaciones_FA&cid=1354388428780&idConsejeria=1109266187242&idListConsj=1109265444710&idPagina=1343067104382&language=es&pagenome=ComunidadMadrid%2FEstructura&site=ComunidadMadrid&sm=1343069714637)> (Consultado: 25/08/2017).
- [7] Ministerio de Fomento del Gobierno de España. Código Técnico de la Edificación. Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) – Disponible en: <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener.html>> [Consultado: 25/08/2017].

# REHABILITACIÓN ENERGÉTICA INTEGRAL DE UNA CASA DE PIEDRA AISLADA

Ricardo Rebolledo, Arquitecto técnico

**Resumen:** Rehabilitación energética con objeto en una edificación de piedra tradicional en León, aunque puede ser exportable a otras muchas edificaciones rurales. Se pretende explicar la investigación sobre cómo conseguir una vivienda “renacida”, de consumo nulo, a través de un proceso constructivo con el menor impacto posible, con máximo aprovechamiento de los materiales reutilizados y del entorno además de la implementación de sistemas constructivos con el menor impacto ecológico posible incluso la piscina está proyectada con un sistema de depuración natural. El resultado final, ofrece una huella de carbono positiva, debido a que la madera es la protagonista de todo el proyecto.

**Palabras clave:** Racionalización, Reutilización, Regeneración, Eficiencia, Reducción, Cercanía

## PRESENTACIÓN

Debemos integrar medidas para cumplir el objetivo principal que nos ocupa, la reducción del impacto ecológico, desde un punto de vista integral y a través principalmente de la eficiencia energética, pero también desde la elección de materiales y procesos constructivos “ecofriendly” con una huella de carbono reducida, de poco sirve tener un consumo casi nulo si hemos generado una gran cantidad de emisiones y hemos contribuido a agotar recursos en el proceso constructivo.

Como contraposición a estos problemas se proponen estas medidas aparentemente sencillas para evitar los impactos negativos expuestos anteriormente.

- Disminución de la **DEMANDA** de energía.
- Mejora del **RENDIMIENTO** de las instalaciones.
- Empleo de energías **RENOVABLES**.

Este esquema de medidas debe integrarse en la concepción de los proyectos, así mismo se debe utilizar para elegir los materiales y procesos constructivos. El ciclo de vida de estos coherentes, esto nos llevaría a la integración total de la **racionalización** (en todas las afecciones de la palabra) de la construcción.

## OBJETIVOS

Mejorar de la demanda energética, introducción de instalaciones de alto rendimiento e incorporación de fuentes de energía renovables a través de sistemas constructivos y materiales con poca huella de carbono. Para alargar su vida útil y conseguir que la edificación no suponga una carga para el medio ambiente. Asimismo, que el proceso de transformación tenga el menor impacto posible.

La rehabilitación tiene como objeto una edificación de piedra tradicional, con todas las insuficiencias de una construcción de los años 50; constructivas y funcionales. Por lo que el primer bloque de objetivos se centra en **resolver las carencias de la edificación**.

## Habitabilidad, salubridad y seguridad

Conseguir una habitabilidad satisfactoria significa, que la edificación esté adaptada a las necesidades actuales acústicas, térmicas, salubres, de iluminación, calidad del aire y seguridad.

Se tratará de identificar los puntos débiles de la edificación en relación a estos campos y ofrecer soluciones que las resuelvan.

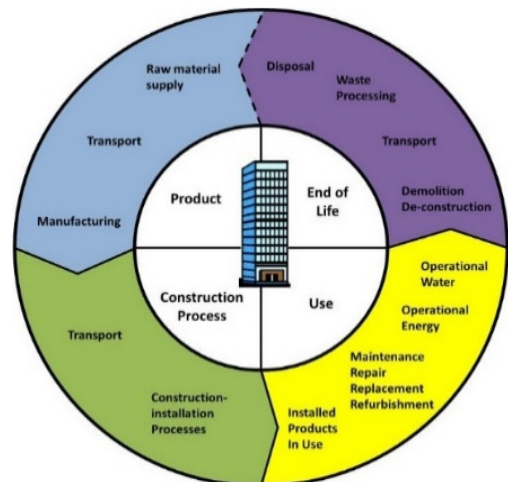


Figura 1. Proceso global de la construcción.

### ***Alargar la vida de la vivienda***

Como consecuencia de resolver los problemas de la edificación anteriormente mencionados, la edificación, renueva la vida útil, debido a la acción integral de esta intervención podremos hablar prácticamente de un nuevo punto de partida.

### ***Impacto ambiental mínimo***

Este apartado se centra en conseguir la disminución de la demanda energética de la edificación. La mejora del rendimiento de las instalaciones, el empleo de energías renovables. Y la utilización de sistemas constructivos y materiales que supongan el menor impacto al medio ambiente posible.

## **La reducción de la demanda energética**

Se buscará a través de la introducción de medidas pasivas de diseño, alto grado de aislamiento, un control riguroso de los puentes térmicos y de las infiltraciones de aire indeseadas, unas carpinterías de gran calidad y un aprovechamiento óptimo del soleamiento de forma tal, que mediante la ventilación mecánica a través de un recuperador de calor y un pozo canadiense se consigue el aporte necesario para su climatización, sin necesidad de un gran aporte activo de energía.

El estándar Passivhaus lo define en los 7 principios básicos:

- Un gran aislamiento
- La supresión de puentes térmicos
- Reducción de las infiltraciones
- Ventilación mecánica con recuperación de calor
- Carpinterías de altas prestaciones
- Optimización de las ganancias de calor solares
- El estudio exhaustivo de las ganancias y pérdidas caloríficas

### ***La mejora del rendimiento***

Recaerá elección de las instalaciones tendrá como objetivo el alto rendimiento de sus elementos de transformación energética, los equipos de producción térmica, de iluminación, electrodomésticos, etc.

Así como en la utilización de los elementos de forma pasiva, como por ejemplo la abertura de huecos para el soleamiento, las protecciones a este con sombra vegetal caducifolia, que se forma en las épocas de calor y desaparece en las de frío; o el paso del aire a través de un pozo canadiense, para ceder o recibir calor de la tierra.

### ***La utilización de energías renovables***

Si el edificio no necesita de energías externas el impacto sobre el medio ambiente puede ser incluso hasta negativo, a lo largo de su vida pudiendo ceder energía a la red, por lo tanto, el sol el viento y la tierra pueden ser el motor único y necesario para el funcionamiento completo del edificio y las necesidades de sus ocupantes.

### ***Elección de materiales y procesos constructivos***

En cuanto al proyecto la elección de materiales y procesos constructivos deben ser consecuentes con los objetivos antes citados, sería muy contradictorio un edificio de consumo cero con materiales que tengan un impacto ambiental exagerado ya sea por la escasez de los mismos, por la energía utilizada en su fabricación, ejecución, transporte hasta la obra, o la generación de residuos peligrosos.

Por tanto, los materiales utilizados deben ser coherentes con los mismos objetivos que planteamos para el funcionamiento de la edificación. Por lo tanto, se buscará en la medida de lo posible la reutilización, el uso de materiales cercanos, que no tengan grandes costos energéticos y que no generen residuos peligrosos.

## Cumplir la normativa

A todo esto, no podemos pasar por alto, que toda la intervención debe **cumplir la normativa**, todos los cambios introducidos deberán ser acordes con el Código técnico de la edificación, y sus reglamentos adyacentes, además de con la normativa urbanística municipal, regional y estatal, el proyecto justificara y los documentos necesarios, para una hipotética ejecución real.

## HISTORIA Y DESCRIPCIÓN

La casa de piedra es una edificación de construcción tradicional con estructura de muros de carga de mampostería, y estructura horizontal de madera frondosa. Terminada de construir en 1958, en la localidad de San Feliz de las Lavanderas, comarca de la Cepeda en la provincia de León.



Figura 2. Imagen de la casa.

Según el estudio de la arquitectura popular de León, la comarca de la Cepeda mantiene una herencia constructiva de las casas de cubierta de paja o casa de techo.

La fachada de esta casa está formada por mampostería irregular de una mezcla de caliza muy dura con esquistos pizarrosos. Combinados con estructuras de entramado pesado de madera de roble y halla, estos materiales son utilizados por ser los que abundan en la zona.

La planta se organiza en dos mitades separadas por un gran muro de piedra de 70 cm que actúa como contrafuerte y muro de carga.

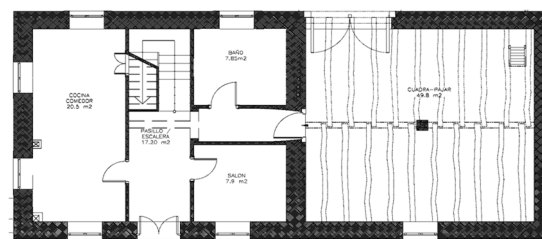


Figura 3. Planta baja original.

La vivienda se divide a su vez, prácticamente por la mitad, a través de una zona de paso compuesta por la puerta de entrada, el pasillo y la escalera. A la izquierda, en la fachada suroeste, se encuentra la cocina, único lugar calefactado, mediante una cocina de leña. Esta estancia se entiende como la que recoge la mayor ocupación durante el día. A la derecha de la escalera se sitúa el baño y el salón, separado por el pasillo que conduce a la cuadra. El baño tiene la misma superficie que la sala de estar, y es el único lugar con producción de ACS mediante un termoeléctrico. La cuadra, de dimensiones similares a la planta de la vivienda, es diáfana, presentando exclusivamente dos huecos en la fachada en planta baja mediante una ventana al sureste y un portón en el paño opuesto. Para acceder al pajar hay que utilizar una escala que, a través de un hueco en la tarima entre-viguetas, permite cambiar de nivel.

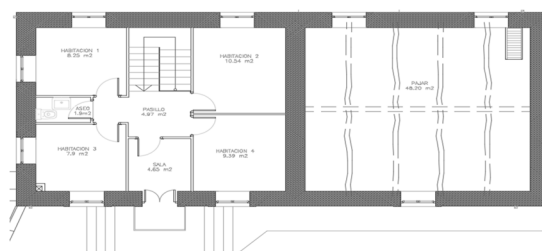


Figura 4. Planta 1 original.

El pajar, como la cuadra, es totalmente diafano sin nisiquiera la pilastra que muere en el forjado del suelo de la planta primera.

A la vista están los durmientes, dinteles y demas elementos de la estructura pudiendo observar que su estado de conservacion es ideal.

## PROPUESTAS Y ACTUACIONES

Con el objetivo de evitar el **impacto ambiental**, se buscan materiales y soluciones constructivas, para la ejecución del siguiente trabajo, que reduzcan las emisiones contaminantes, en todo su ciclo de vida, Se cuidara por lo tanto en proceso en tres niveles en **proyecto**, en la **ejecución**, y en la **vida** del edificio.

Las actuaciones y propuestas elegidas se agrupan de la siguiente manera:

## Elección de materiales y sistemas constructivos sostenibles

En primer lugar, se elige un material fundamental en el proyecto, la **madera** porque engloba todas las virtudes de la sostenibilidad

La **proximidad**, y la facilidad de encontrar en la zona, distintos tipos de factorías que ofertan productos basados en esta materia prima. Con esto se reducirá el impacto que el transporte del material genera sobre el medio ambiente.

La **regeneración**, es el único material que podemos cultivar y no agotar sus reservas en bosques gestionados de manera regulada, la tala de un árbol significará la plantación de un nuevo árbol joven, que a través del proceso de fotosíntesis absorberá más cantidad de CO<sub>2</sub> de la atmósfera que un árbol crecido. Lo que conlleva, a otra de las razones **una huella de CO<sub>2</sub> negativa**, si los procesos de producción de los materiales definitivos no lo impiden. En cualquier caso, no existe un material que tenga estos resultados, que no solo no desprende CO<sub>2</sub> a la atmósfera si no que lo elimina.

Por lo tanto, casi la totalidad del **trasdosado**, de la **tabiquería**, de la **estructura**, y de los **pavimentos**, el **aislamiento** será de madera o de productos procedentes de la misma.

También se pretende conseguir una **construcción lo “seca”** siempre que sea posible, se evitaban yesos, morteros, y hormigones, buscando una reducción de tiempos de secado y fraguado. Además de aportar ligereza en algunos casos como en forjados y tabiquería.

Para la construcción del garaje, se elige una estructura de elementos verticales de muros de carga de fábrica de mampostería como la del edificio principal, y como estructura horizontal se plantea un forjado de vigas y viguetas de madera laminada, con tablero de partículas cementado hidrófugo, y sobre la impermeabilización, y grava como protección.

El vaso de la piscina por **evitar la estructura de hormigón**, se formará con un sistema de contención, de traviesas, a modo de pilotes hincados un tercio de su longitud total estará enterrada, en principio la constitución del terreno, no rocoso lo permite. Los elementos verticales de la pérgola serán hincados de igual manera.

La piscina se proyecta con unas terrazas con diferentes tipos de gravas y plantas que a través el paso constante por ellas depura el agua sin productos químicos adicionales.

En este proyecto se **reutilizarán** las baldosas y la madera desmontada, dentro de la obra, y el pavimento exterior y el recubrimiento de la piscina será un pavimento de áridos ligados reutilizados, la grava en alto porcentaje será reciclada también.

Cimentaciones, instalaciones, otros acabados, carpinterías, impermeabilizaciones, son más comunes, debido a que, aunque existen en algunos casos, versiones sostenibles no cumplen con la normativa o su transporte implicaría un deterioro del valor del análisis de su ciclo de vida.

## Eficiencia energética

Por razones de mejora de la eficiencia energética, se actuará sobre la envolvente térmica, colocando un trasdosado continuo con gran aislamiento, por el interior para mantener el ornato público, que además de propiedades térmicas tendrá la capacidad de ser estanco al aire, por lo que todas las juntas de la última capa serán selladas a conciencia, así como todos los pasos de instalaciones. No se plantea hacer un ensayo de las filtraciones, como se exige en el estándar Passivhaus pero nos ayudara a mejorar los resultados de eficiencia energética.

Las carpinterías al ser sustituidas se retrasan al interior para obtener una protección solar debida al gran espesor del muro exterior.

Por las mismas razones energéticas y además de las exigencias de la normativa, se proyecta la introducción de instalaciones de alta eficiencia.

**Bomba de calor** reversible, para apoyo de la producción de ACS y para climatizar todo el edificio a través de la ventilación mecánica, Esta bomba Aerotérmica con el apoyo de la admisión por del pozo canadiense hace suficientes 5 kW para cubrir todas las necesidades, además claro del apoyo de la red de energía solar térmica.

**Instalación solar**, fotovoltaica y solar térmica, que generaran casi toda la energía que necesite la casa.

La **piscina** dispondrá de un sistema de **limpieza natural** en el que el agua se filtrará a través de gravas y plantas situadas en el anillo exterior, evitando la depuración y clora.

## Funcionalidad y habitabilidad

Debido a la intención de conseguir una mejor habitabilidad se **redistribuyen los espacios**, se incorporará la zona de la cuadra a la vivienda, y se dará coherencia a la distribución de superficies de los espacios. En la zona de la cuadra se abrirá un hueco por dos razones dar salida del espacio al jardín y por la necesidad de soleamiento que tiene el nuevo uso del espacio,

En esta zona de la cuadra se abre un hueco en el forjado, generando un espacio de doble altura muy interesante. El forjado es muy sencillo de desmontar y no supondrá un esfuerzo demasiado notable.

También, se toma la decisión, de **sustituir toda la tabiquería de la planta superior**, por una tabiquería autoportante de madera, que además de permitir distribuir los espacios de la planta primera, permitirá facilitar la colocación del trasdosado.

Las instalaciones de fontanería, saneamiento, y electricidad, se sustituyen por completo debido a las insuficiencias, de las anteriores, conservándose las acometidas. La instalación de ventilación será nueva.

## ESTUDIO ENERGÉTICO

Los modelos constructivos de edificaciones sostenibles y de consumos reducidos, hacen hincapié en la importancia de la orientación de los espacios y los huecos, con el fin de aprovechar la energía de térmica y lumínica del sol, en este caso el margen de mejora es limitado debido a la función estructural inherente al cerramiento, aun así la experiencia de la tradición constructiva con la que fue concebido el edificio, abre huecos hacia el sol, y mantiene paños cerrados en las zona menos soleadas, véase que la fachada noreste es ciega.

En cuanto al aislamiento térmico se pretende proyectar un sistema de trasdosado continuo por el interior, de esta manera y con el fin de encontrar el mayor rendimiento sin excederse en el grosor, se utiliza la herramienta informática cypeMEP, generando un modelo 3D con todos los materiales definidos, con sus propiedades físicas, que nos facilitara, en primer lugar, la conciencia de la situación actual.

Aquí se advierte que a partir de 20 cm de aislamiento deja de ser eficiente, a mayores grosores el descenso de la demanda energética de la edificación se ve muy reducido. La reducción de la demanda tiene un resultado menguante, al añadir pequeños espesores la reducción es muy acusada, pero a medida que aumenta la reducción es cada vez menor. La importancia de introducir una recuperación de calor se aprecia también en este proceso.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han buscado sistemas que se escapan de lo habitual, ya fueran materiales, sistemas constructivos o instalaciones, notando la dificultad de incluirlos en un proyecto. Justificar su uso en base a la normativa, se hace más complicado de lo normal, ya sea por la falta de ensayos, de información, de referencias de un uso previo, o por estar fuera de los bancos de datos generales.

Esto nos lleva a concluir que, la normativa facilita la construcción tradicional, dejando de lado los beneficios de la sostenibilidad de otras maneras de construir. Como ejemplo extremo, en relación con la energía nos encontramos con la “imposibilidad” de desconectar de la red eléctrica a la casa, una de las ideas que se tenía antes de empezar el proyecto.

## REFERENCIAS

- José Luis García Grinda, ARQUITECTURA POPULAR LEONESA., León, 2008. 142 pp.
- Presentación de proyecto con información gráfica <https://rehabitando.tumblr.com/>

## MODELOS DE NEGOCIO PARA IMPULSAR LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS Y DISTRITOS RESIDENCIALES

**Javier Martín Sanz**, Responsable técnico del área centro, Veolia Servicios LECAM  
**Alfonso Gordaliza Pastor**, Ingeniero de Eficiencia Energética, Veolia Servicios LECAM  
**Enrique Martín Guillem**, Ingeniero de Eficiencia Energética, Veolia Servicios LECAM  
**José Ramón Martín-Sanz García**, Ingeniero de Eficiencia Energética, Veolia Servicios LECAM  
**Carmen Muñoz Rodríguez**, Ingeniero de Eficiencia Energética, Veolia Servicios LECAM  
**Isabel Martín Sanz**, Arquitecto, 3IA  
**Irene de Castro**, Arquitecto, 3IA

**Resumen:** La rehabilitación energética integral de un barrio requiere de un volumen alto de inversiones difícilmente amortizable en un periodo corto de tiempo, debido a los elevados costes en materia de tecnología y construcción. En este contexto, para la renovación del barrio de Torrelago dentro del proyecto europeo CITYFiED, ha sido necesario desarrollar un modelo de negocio mixto que permite combinar la financiación de las actuaciones en la envolvente de 31 edificios con la integración de energías renovables en una red de calor que abastece a 1.488 viviendas, para optimizar el rendimiento global del sistema. El modelo, descrito siguiendo la metodología Canvas, está basado en los ahorros energéticos obtenidos que derivan en un ahorro económico suficiente para la financiación de las inversiones. Así mismo, se sigue un esquema de financiación que incluye a instituciones públicas, entidades privadas y entidades financieras. En este artículo, primero se realiza una breve descripción de la situación inicial del distrito, se plantean los objetivos del proyecto y se detallan las medidas de eficiencia energética implementadas en el proyecto. A continuación, se detalla la metodología que sigue el modelo de negocio aplicado y se describen cada uno de los bloques en los que se divide dicho modelo de negocio.

**Palabras clave:** Modelo de Negocio, Medidas de Ahorro Energético, Financiación, Gestión Energética, Empresa de Servicios Energéticos, Garantía Total

### INTRODUCCIÓN

#### Contextualización del proyecto

El distrito de Torrelago es un conjunto de 31 edificios de viviendas residenciales situados en la localidad de Laguna de Duero (Valladolid). Está dividido en dos fases (Fase I y Fase II), de 12 y 19 edificios respectivamente, gestionadas por dos Comunidades de Propietarios diferentes. Cada edificio cuenta con 12 plantas y 4 viviendas por planta, lo que hace un total de 1.488 viviendas. La renovación del distrito de Torrelago supone un proyecto pionero e innovador, ya que se trata de la mayor renovación residencial en Europa con más de 140.000 m<sup>2</sup> de superficie acondicionada. Además, esta renovación integral se enmarca dentro del proyecto europeo CITYFiED con otros demostradores en las ciudades de Soma (Turquía) y Lund (Suecia).

Los edificios de Torrelago fueron construidos entre los años 1978 y 1981, por lo que sus fachadas se caracterizaban por un pobre aislamiento térmico, lo que se traduce en una demanda excesiva de energía y un limitado confort en los interiores de las viviendas. Por otra parte, el sistema de calefacción y agua caliente consistía en dos redes de calor con gas natural independientes que abastecían a cada una de las dos fases, con un único anillo de distribución y sin subcentrales de intercambio de calor en los 12 edificios correspondientes a la Fase I. Además, los usuarios finales no contaban con ningún tipo de regulación individual a nivel de vivienda, presentando disconformidades de sobrecalentamiento en los pisos centrales y una alta pérdida de temperatura interior cada vez que el sistema de calefacción se apagaba.

#### Objetivos del proyecto

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron varios objetivos en el marco del proyecto. El primero de ellos es reducir el consumo energético del distrito, reduciendo la demanda mediante el aislamiento de las fachadas en un 40%. De este modo, se pretende además mejorar significativamente las condiciones de confort en el interior de las viviendas, mediante la instalación además de contadores de energía inteligentes que permitan un mejor control de las instalaciones. En segundo lugar, aumentar la contribución de energías renovables hasta el 80% para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 94% (3.000 ton/año). Para alcanzar estos objetivos, se renovarán los equipos por otros nuevos para conseguir una reducción de los costes de operación y mantenimiento y un aumento de la eficiencia energética

global a nivel de distrito. Por último, se pretende fomentar la concienciación energética y participación de los residentes en la toma de decisiones mediante el uso de termostatos individuales, que permitirá a los vecinos actuar directamente sobre su consumo.

## Estrategia de rehabilitación integral

Para la consecución de dichos objetivos, en el aislamiento de las fachadas se opta por un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) de elevada estabilidad y durabilidad compuesto por un panel aislante de poliestireno expandido de 8 cm fijado con un adhesivo de mortero y anclaje mecánico.

En cuanto a la renovación de la red de calor, se han unificado las instalaciones originales en una única red para las dos fases que abastezca conjuntamente a todos los edificios del distrito, con el objetivo de reducir los picos de demanda y compensar los consumos de ambas fases. Además se han sustituido las calderas de gas de la Fase 1 por unas nuevas de biomasa de 3.5 MW con triple intercambiador de calor y con control avanzado de producción, instalando un contador de energía térmica en el circuito primario de la caldera. Además, se pretende instalar un sistema de microgeneración con una potencia de 33 kW eléctricos. Se han instalado dos tanques de inercia con 25 m<sup>3</sup> de capacidad como elemento amortiguador de los picos de potencia que además permite una mayor estratificación por temperatura. Se han integrado nuevos sistemas de bombeo de caudal variable para adaptar la producción a la demanda real de los usuarios y se ha llevado a cabo la separación hidráulica del anillo respecto a producción mediante subestaciones de intercambio en cada uno de los edificios.

Por último, después de la renovación se cuenta con un sistema de control avanzado en cada subestación mediante contadores inteligentes y ajuste de temperatura de impulsión, y a nivel de vivienda, mediante termostatos que permiten elegir la temperatura de confort en cada vivienda. Con todas estas medidas, se pretende alcanzar un ahorro energético del 50%. En la siguiente figura (figura 1) se muestra una vista aérea del distrito de Torrelago, en la fase de implementación del aislamiento en las fachadas.



*Figura 1. Vista aérea del distrito de Torrelago en la fase de rehabilitación.*

Resumiendo lo que se ha mencionado anteriormente, las medidas de mejora de la eficiencia energética planteadas para Torrelago en el proyecto son:

- Aislamiento térmico por el exterior de las fachadas de los edificios para reducir muy significativamente la demanda de energía en las viviendas.
- Unificación de las dos redes de calor originales en una única red de distrito.
- Mejora de la producción energética e integración de renovables para producción de calor (3.5 MW biomasa) y electricidad (33 kW cogeneración).
- Sistema de bombeo con caudal variable para adaptar la producción a la demanda de los usuarios.
- Instalación de dos tanques de inercia de 25 m<sup>3</sup> como elemento amortiguador.
- Separación hidráulica del anillo respecto a la producción mediante subestaciones de intercambio a nivel de edificio.
- Control integrado e inteligente, combinado con sistemas de monitorización y simulación.
- Contaje inteligente de energía a nivel de distrito, edificio y vivienda.



- Posibilidad de control individual en los hogares a través de un termostato inteligente a nivel de vivienda.

Una vez contextualizado el proyecto, es importante resaltar que para poder llevar a cabo todas las mejoras anteriormente descritas y conseguir unos objetivos tan ambiciosos desde el punto de vista energético y medioambiental, es necesaria una inversión económica tan elevada que para que sea viable es necesario un modelo de negocio conjunto. De cara a describir el modelo de negocio desarrollado para el caso de Torrelago se seguirá una metodología basada en el Modelo Canvas, distinguiendo entre cuatro bloques diferentes: oferta/servicio, infraestructura, clientes y financiación.

## DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE NEGOCIO

El modelo de negocio desarrollado sigue la metodología CANVAS, la cual ha sido dividida en cuatro bloques que permiten explicar el modo en el que se estructura el negocio con el objetivo de hacerlo productivo para todos los agentes implicados en él.

Como se ha comentado, el modelo combina las actuaciones pasivas en la envolvente de los edificios como las medidas activas en la red de calor del distrito. Las soluciones pasivas que consisten en la instalación de unos paneles de aislamiento tipo SATE se han llevado a cabo por una empresa de construcción, 3IA, mientras que la renovación de la red de calor y su posterior operación y mantenimiento es llevada a cabo mediante una Empresa de Servicios Energéticos, Veolia.

El modelo de negocio se basa en los ahorros energéticos que se obtendrán una vez implementadas todas las soluciones activas y pasivas en el distrito. Estos ahorros permiten una reducción de los costes para los usuarios, lo que a su vez permite el retorno de la inversión sin necesidad de incrementar la facturación mensual de los propietarios que tenían antes de la realización del proyecto, favoreciendo así la aceptación social del proyecto.

Los ahorros económicos para los propietarios están garantizados por parte tanto de 3IA como de Veolia mediante un compromiso colaborativo donde comparten riesgos tanto técnicos como económicos en el resultado del proyecto. En los siguientes apartados se explican las características de cada uno de estos apartados en detalle.

### **Oferta/Servicio**

El servicio que se le ofrece al cliente se puede dividir en dos partes: por una parte, la empresa Veolia se encarga de la ejecución de las medidas energéticas en la red de calor, mientras que 3IA es la encargada de la renovación de las fachadas de los edificios. Veolia participa activamente durante todo el proceso, desde la fase de diseño hasta la fase de operación, pasando por la implementación de las mejoras. Su filosofía es ofrecerle un servicio energético completo al cliente. Durante la fase de diseño, tras el estudio de las instalaciones previas a la renovación y realizar varias auditorías, Veolia se encarga de proponer las Medidas de Ahorro Energético, evaluando su impacto tanto energético como económico, para finalmente proponer la solución más conveniente para el cliente y negociarla con él.

En la fase de implementación, Veolia ofrece 4 posibles servicios al cliente: el diseño del proyecto técnico, la posterior implementación de las soluciones, puesta en marcha de las instalaciones y la posible financiación de las intervenciones.

Por último, durante la fase de operación, Veolia firma un contrato con las Comunidades de Propietarios para llevar a cabo la operación y mantenimiento de la instalación energética, asegurando el mayor rendimiento posible y todo el equipo necesario, incluida su reparación si fuera preciso sin suponer un mayor coste para el cliente. Por su parte, 3IA participa también activamente en todo el proceso, ofreciendo el servicio de la simulación estática durante la fase de diseño, y la rehabilitación de las fachadas que permita una reducción de la demanda, asegurando financiación y garantía, durante la fase de implementación.

### **Infraestructura**

Los socios del proyecto son los encargados de proporcionar todo el equipo necesario para llevar a cabo la renovación del distrito: andamios, paneles de aislamiento SATE, calderas de biomasa, bombas de caudal variable, contadores de energía, etc. Tanto 3IA como Veolia son empresas con una amplia experiencia en el sector de la edificación y de la energía y poseen una gran variedad de contactos de proveedores del sector, lo que les permite ofrecer en sus productos calidad y precios competitivos.

Veolia cuenta con dos empresas en su mismo grupo empresarial involucradas en el proyecto: Veolia Contracting, encargada de los trabajos de construcción en la red de calor de Torrelago y puesta en servicio de las instalaciones, y Enerbosque, empresa que suministra la biomasa en forma de astilla forestal para alimentar a dicha red de calor. Esto le permite garantizar calidad y suministro durante todas las fases de proyecto. Además, Veolia cuenta con sus propios fondos de financiación para invertir en el proyecto de Torrelago, garantizando así la correcta financiación del mismo. Por otra parte, la empresa cuenta además con el centro de optimización y control Hubgrade, una herramienta energética muy potente que proporciona un valor añadido a los servicios que ofrece Veolia en el proyecto. Esta herramienta combina monitorización a tiempo real y control remoto con personal técnico operando en la red in-situ.

Por último, con el objetivo de evaluar los ahorros energéticos obtenidos con el proyecto, Veolia implementa el Protocolo Internacional de Medida y Verificación (IPMVP), a través de un agente certificado externo a la compañía para una mayor transparencia. Por su lado, los trabajos en las fachadas de los edificios han sido subcontratados. El banco Triodos Bank, dentro de su compromiso de banca ética y sostenible, ha financiado la obra de renovación de las fachadas en el distrito de Torrelago.

### **Cientes**

Veolia y 3IA tiene dos clientes con contratos independientes: las dos Comunidades de Propietarios del distrito de Torrelago (una por cada fase). Sin embargo, aunque éstos son los dos únicos clientes, la decisión de llevar o no a cabo el proyecto radica en cada uno de los propietarios de las viviendas. Según la legislación española, las intervenciones del proyecto debían ser aprobadas por al menos un 60% de los vecinos en cada fase. Esto ha hecho necesario un flujo de comunicación continuo, bidireccional y adecuado con los vecinos, organizando diversas reuniones presenciales con los propietarios de las viviendas y los presidentes de las dos comunidades de vecinos. Según los términos del contrato, las comunidades de vecinos son los propietarios de todo el equipo suministrado necesario para el proyecto, pudiendo decidir sobre la temperatura de impulsión y horarios de funcionamiento de la red de calor, mientras que Veolia es la encargada de operar la instalación para conseguir la mayor eficiencia posible. Todo esto, hace necesario un contacto muy cercano entre la empresa y las comunidades de vecinos.

En el proyecto, Veolia y 3IA no facturan directamente a cada uno de los vecinos, sino a las comunidades, puesto que son los clientes directos. Se pretende, que en un futuro próximo, las comunidades implementen la facturación individual por edificio o incluso por vivienda, que permita discriminar precios y facturar diferente en función del consumo de cada vivienda.

### **Financiación**

La principal característica innovadora del modelo de negocio aplicado en la renovación del distrito de Torrelago radica en la combinación de esquemas financieros para soluciones activas y pasivas, de tal forma que los ahorros económicos obtenidos permitan el retorno de la inversión sin incrementar las mensualidades de los propietarios de las viviendas que pagaban antes de la realización del proyecto. Los ingresos provenientes de la gestión energética, son variables según el consumo de energía sea mayor o menor. El precio de la energía producida en las nuevas instalaciones de Torrelago está dividido en dos partes: el 80% está relacionado con la energía producida a partir de biomasa, mientras que el 20% restante se refiere a la energía producida en la sala de calderas de gas natural de la Fase 2.

Los ingresos de las operaciones de mantenimiento y operaciones en la red tienen un precio indexado fijo base que se actualiza cada año de contrato según el índice de precios al consumidor español. El precio base depende del personal de mantenimiento necesario, el estado de las instalaciones y los costes de reparación. Además, la deuda se distribuye en mensualidades fijas con una tasa de interés fija. En el caso de 3IA, tienen una serie de ingresos fijos procedente de la amortización de las obras en el distrito. Sus ingresos son superiores a los de Veolia, ya que los pagos de amortización debido a la gran inversión, son también mayores. La cifra de negocio anual es de ambas empresas al año son 1.1 M€.

De manera similar a los ingresos, existen costes fijos y variables. En el caso de Veolia, los costes fijos son debidos a personal, costes indirectos, costes de mantenimiento, etc. Los costes variables son principalmente el coste debido a los dos combustibles. El coste de la biomasa depende de la energía final producida por las calderas de biomasa, mientras que el gas natural tiene un precio fijo por unidad de energía primaria consumida. Todas las demás actividades llevadas a cabo por Veolia, se consideran costes indirectos del proyecto, siendo Veolia quien asume todos los riesgos técnicos y económicos. En el caso de 3IA, los costes se deben a dos conceptos diferentes: materiales y equipos necesarios para la renovación, y costes financieros debidos al crédito concedido. En la siguiente tabla (tabla I) se muestran las duraciones de los contratos de ambas empresas con las dos Comunidades de Propietarios.

Comunidad de propietarios	Contrato de la renovación de la red de calor (VEOLIA)	Contrato de la rehabilitación de las fachadas (3IA)
Fase 1	20 años	25 años
Fase 2	15 años	20 años

Tabla I. Duraciones de los contratos.

Por último, el esquema financiero que hace viable el negocio involucra tanto a instituciones públicas como empresas privadas y entidades bancarias. El mayor aporte financiero para costear el proyecto de Torrelago se ha llevado a cabo por la Comisión Europea mediante una concesión de 8 M€. Esto permitió reducir en un 49% la inversión inicial. La inversión total del proyecto ha sido de 16,5 millones de euros, como se muestra en la siguiente (Tabla II).

Intervención	Inversión total	Subvención CE	Inversión de la empresa
Rehabilitación de las fachadas	14,0 M€	7,0 M€	7,0 M€
District Heating	2,5 M€	1,0 M€	1,5 M€

Tabla II. Cifras económicas.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para finalizar, destacaremos los aspectos más relevantes del proyecto. Durante las fases del proyecto ha sido necesario hacer frente a una serie de barreras tanto económicas, como técnicas y sobretodo, sociales. Uno de los principales obstáculos que se han encontrado es la desinformación de los clientes y el desconocimiento sobre estas tecnologías y modelos de negocios que se pretendían implementar. Por este motivo, es necesario llevar a cabo una serie de campañas de concienciación e información para los ciudadanos.

En esta misma línea, al tratarse de un proyecto de renovación a grande escala y de objetivos ambiciosos, fue necesario utilizar un esquema de financiación a largo plazo e innovador, en el que participan tanto instituciones públicas, la Comisión Europea en este caso, como empresas privadas (de construcción y de Servicios Energéticos), entidades bancarias (Triodos Bank) y las Comunidades de Propietarios. Las entidades financieras ordinarias no apuestan por este tipo de proyectos puesto que no ven garantizados los ahorros, por lo que se hace necesario recurrir a un banco con compromiso de banca ética y sostenible.

Además, el modelo de negocio debe ser flexible, teniendo en cuenta las necesidades del cliente, y son necesarias las relaciones continuas y cercanas entre todas las entidades que participan en el proyecto. Sin embargo, a pesar de la oposición inicial, el modelo de negocio con estas características, obtuvo finalmente una gran aceptación entre los clientes. Las ventajas obtenidas repercuten tanto en los vecinos como en las otras entidades involucradas en el esquema financiero, destacando que la gran inversión inicial necesaria, se recupera con los ahorros obtenidos sin necesidad de aumentar las mensualidades facturadas a los propietarios.

## REFERENCIAS

- Directiva 2010/31/EU del parlamento europeo y del consejo de eficiencia energética. Revista oficial de la Unión Europea 2010, L. 153/13 Official Journal of the European Union 2010, L. 153/13.
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official Journal of the European Union 2012, L. 315/1.
- Directiva 2012/27/EU del parlamento europeo y del consejo de eficiencia energética, sobre las Directivas 2009/125/EC, 2010/30/EU, 2004/8/EC y 2006/32/EC. Revista oficial de la Unión Europea 2012, L. 315/1.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y.; Business Model Generation, 1st Ed.; John Wiley and Sons Ltd.: United Kingdom, Amsterdam, 2009.
- <https://www.projectsmart.co.uk/building-a-business-case-for-your-project.php> (último acceso 14 de Junio 2017).

## ESTUDIO ENERGÉTICO EN VIVIENDA REHABILITADA CON INSUFLADO DE CÁMARA CON LANA MINERAL

Josep Bové Mestre, Responsable de Sostenibilidad, Knauf Insulation

**Resumen:** Presentación del estudio realizado por el Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Dirección de Vivienda del Gobierno Vasco sobre el comportamiento energético de dos viviendas municipales en Bilbao. Para realizar dicho estudio se compararon y monitorizaron 2 viviendas de semejantes características y en el mismo bloque de edificios implementando en una de ellas medidas de mejora energética como el insuflado de lana mineral virgen Supafil 034, o mejorando la estanqueidad. Para ensayar estas viviendas se monitorizó térmicamente la vivienda rehabilitada, en consumo de calefacción y temperatura/humedad interior y, además, se ensayaron la medida de estanqueidad en la vivienda rehabilitada, la medida de resistencia in situ en la fachada insuflada, la medida de la resistencia in situ de la fachada no insuflada y se realizaron termografías de las fachadas intervenidas.

Palabras clave: Aislamiento, Rehabilitación, Lana Mineral Virgen, Estanqueidad, Supafil 034, Ahorro Energético

### INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años han crecido las publicaciones, resultados y promociones donde se transmite el ahorro generado por intervenciones de rehabilitación energética en viviendas o edificios, y muy a menudo, estos resultados proceden de simulaciones hechas por programas de cálculo estático y en condiciones controladas. En la inmensa mayoría de casos no existe ningún tipo de malicia, más bien se pretende nutrir al mercado de conocimiento y promocionar el ahorro energético, pero por costes de ensayos in situ, por la rapidez de ejecución de las simulaciones, y las ventajas tanto logísticas como de recursos que presentan estas últimas hacen que abunden muchos datos de dudosa procedencia. Lo que casi obliga a preguntarse ¿hasta qué punto son estos datos fiables?



Figura 1. Sistema Supafil de insuflado de cámara de aire.

Para responder a esta pregunta, el Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación encargó a la Universidad del País Vasco el estudio donde se pudiera cuantificar el ahorro en calefacción y diferencias de temperatura con la utilización de una medida rápida y sencilla de rehabilitación como es el insuflado de lana mineral virgen, muy extendida en la zona Norte de España y la renovación de ventanas.

Para ello, seleccionaron 2 viviendas de su parque edificatorio municipal de similares características de cámara de aire, superficie y orientación y se ensayaron las condiciones en que cada una se comportaba térmicamente con la aplicación del insuflado de lana mineral y sin dicha aplicación. Asimismo, también se midieron los niveles de estanqueidad proporcionados por el cambio de ventanas de la vivienda rehabilitada

Dicho estudio se vio limitado por diversos factores ajenos que obligaron a acotar la monitorización a 2 meses de calefacción debido a la capacidad o falta de interés de los vecinos en la contratación de calefacción.

## DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

La vivienda rehabilitada es una vivienda con orientación de la fachada principal a NO, con 56m<sup>2</sup>, de tres habitaciones, salón, cocina, aseo y pasillo central tal y como se puede apreciar en la Figura 2.

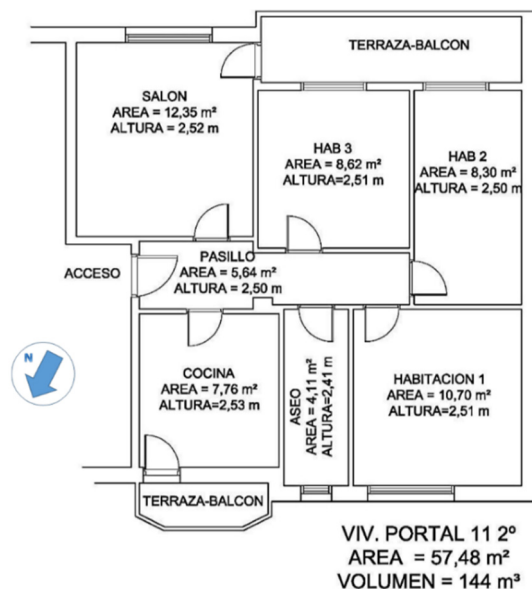


Figura 2. Plano de la vivienda rehabilitada.

La altura media de las estancias interiores tiene una media de 2,52 m, generando un volumen total interior de vivienda de 144m<sup>3</sup>. Este valor de volumen se utilizará para determinar la estanqueidad al aire.

## MEDICIONES Y/O ENSAYOS

### Ejecución de los ensayos de medida in-situ de la resistencia térmica

La medida in situ de la resistencia térmica se ha hecho siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 9869-1:2014 con el objetivo de determinar la Resistencia Térmica (RT) de la fachada como consecuencia del insuflado de la cámara de aire con Supafil 034.

Para ello se ha medido la RT de envoltente de la vivienda insuflada y la de la no insuflada, con idénticas características de cerramiento original y colocando los sensores de temperatura y determinando el flujo de calor interior-exterior, teniendo en cuenta la temperatura superficial y la temperatura del aire. Mediante un software específico se determinó el flujo de calor y las diferentes RT.

Es relevante decir que las mediciones tenían que realizarse en viviendas ocupadas ya ha de haber una diferencia notable de temperaturas interior exterior para generar suficiente nivel de flujo de calor a través de la envoltente.

#### Material Utilizado. Supafil 034

El material utilizado para insuflar las cámaras de aire en la vivienda rehabilitada fue Lana Mineral virgen, es decir, sin ningún tipo de ligante, insuflado mediante soplado neumático de la marca Knauf Insulation y de nombre comercial Supafil 034.

Es un sistema ampliamente utilizado en la zona desde hace años por lo que el instalador homologado por el fabricante conocía los parámetros a la perfección para insuflar en las condiciones correctas para cumplir lo marcado por su Declaración de Prestaciones.

En la Tabla I se pueden ver las características y propiedades del material, representado en la Figura 2.

Característica	Especificación					Normativa
Reacción al fuego (Euroclase)	A1 (no combustible)					EN 13501-1
Conductividad térmica ( $\lambda$ D)	0,034 W/m·K					EN 12667
Absorción de agua a corto plazo (WS)	$\leq 1 \text{ Kg/m}^2$					EN 1609
Nivel de asentamiento	S1					12064-1
Resistencia térmica (Rd)	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	100 mm	
	1,45 m <sup>2</sup> ·K/W	1,75 m <sup>2</sup> ·K/W	2,05 m <sup>2</sup> ·K/W	2,35 m <sup>2</sup> ·K/W	2,90 m <sup>2</sup> ·K/W	

Tabla I. Características y Propiedades.

## Ejecución del ensayo de estanqueidad

El ensayo de estanqueidad se hizo en un periodo con la vivienda aún sin ocupar, justo después del proceso de renovación y justo antes del proceso de alquiler. En la Figura 3 se aprecia el equipo empleado para la medición

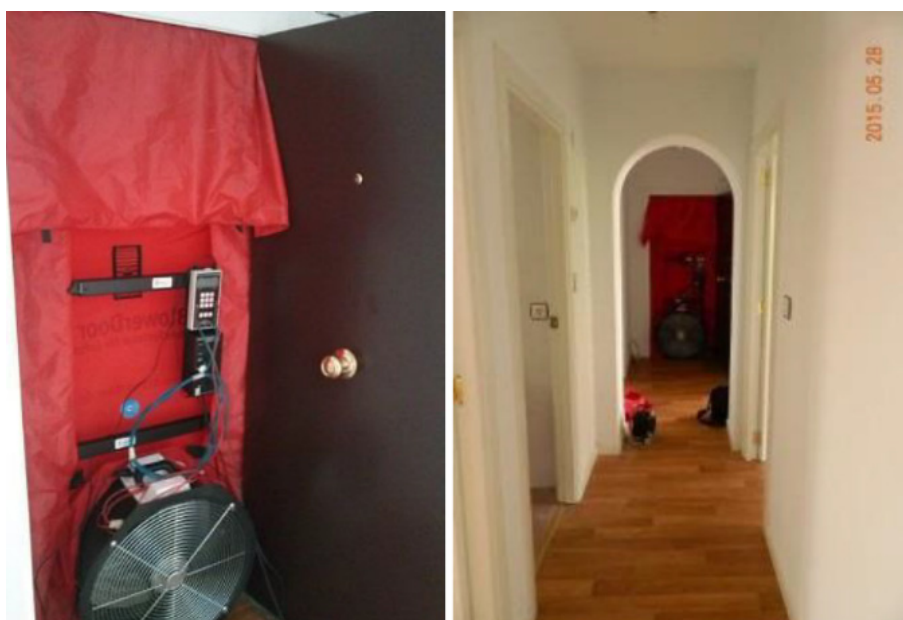


Figura 3. Material del ensayo de estanqueidad.

El ensayo se lleva a cabo según el método B definido en la norma de referencia. Por lo tanto, cualquier abertura intencionada realizada en la envolvente de la muestra debe estar sellada o cerrada, como sucede con las rejillas asociadas al sistema de ventilación.

La vivienda no contaba con sistema de extracción, pero sí con rejillas de admisión en los cajones de persiana del tipo higo regulables. En la Figura 3 se aprecia el sellado de una de las rejillas. La vivienda contaba con el mobiliario de cocina y la campana extractora.

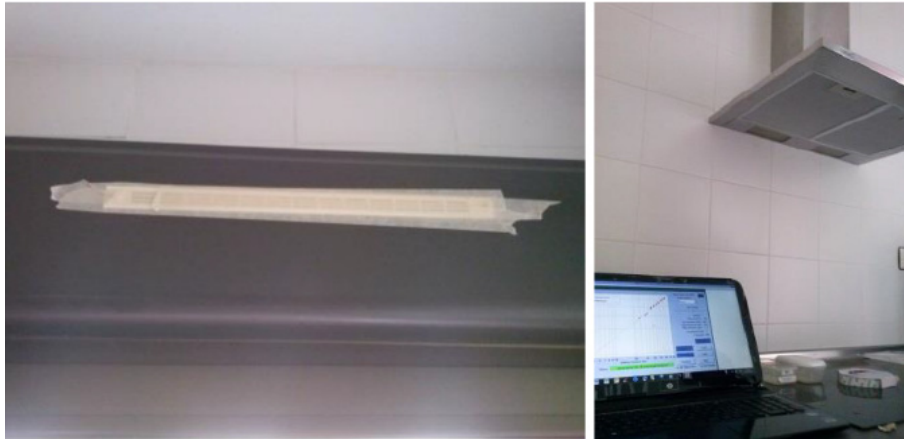


Figura 4. Detalles del sellado de las aberturas.

El valor que aparecen en los resultados corresponde a la medición realizada con la campana sin sellar, que es como estará configurada la vivienda en su uso habitual. Sin embargo, para valorar el efecto de la misma, se repitió la medición sellando la campana y se detectó una reducción del 9%.

### Ejecución de la Monitorización energética

La vivienda analizada fue objeto de un proceso de contratación en alquiler iniciado en el segundo semestre de 2015 y que fue resuelto a finales de año. Seguidamente fue necesario esperar que la inquilina realizara los respectivos contratos de luz, agua y gas, al tiempo que se instalaba el equipo de monitorización en la vivienda.

La monitorización quedó operativa a partir de marzo del presente año, alcanzando a cubrir dos meses de uso de calefacción. El objetivo era el de medir la energía destinada a la calefacción y la temperatura y la humedad relativa interior para conocer el nivel de consumo de la vivienda al tiempo que se comprueba si las condiciones interiores se encuentran en un umbral de confort.

### Ejecución de la Termografía

El ensayo se llevó a cabo según el procedimiento simplificado de la norma EN 13187:1998, por tratarse de un edificio terminado.

La visita para la captura de las termografías se realizó el 13/03/2016, a las 6:30 horas, con salto térmico entre interior y exterior en torno a los 10 °C.

Este día presentaba condiciones ideales, incluyendo la no presencia de niebla y que no hubiese llovido al menos en los dos días previos a la captura.

## RESULTADOS DE LAS MEDICIONES Y/O ENSAYOS

### Resultado de la medida in-situ de la resistencia térmica de fachada

	Fachada no insuflada	Fachada insuflada
Resistencia Térmica entre superficie interior y exterior de fachada	0,718 m <sup>2</sup> K/W	3,717 m <sup>2</sup> K/W
Transimtancia térmica entre ambiente interior y exterior	1,56 W/ m <sup>2</sup> K	0,26 W/ m <sup>2</sup> K
Capacidad térmica de fachada	189 KJ/ m <sup>2</sup> K	208 KJ/ m <sup>2</sup> K

### Resultado del ensayo de estanqueidad

Ensayo	n <sub>50</sub> (1/h)
Despresurización	2,96
Presurización	3,01
<b>Promedio</b>	<b>2,99</b>

\* El dato obtenido corresponde al ensayo realizado sin sellar la campana extractora de humos en cocina. Una segunda medición con la campana sellada produjo un valor de n<sub>50</sub> = 2,73;

	Depres.	Pres.
C <sub>env</sub> [m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )]	39	42
C <sub>L</sub> [m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )]	39	42
n [-]	0,61	0,60

\*La incertidumbre de las medidas se encuentra dentro del rango fijado por la norma UNE EN ISO 13829:2002

### Resultado de la monitorización

En la Figura 5 se ilustra la evolución de las variables monitorizadas en la vivienda desde marzo hasta octubre de 2016. La gráfica superior corresponde al: consumo de calefacción el cual deja de ser requerido a partir del mes de mayo. Las curvas intermedias muestran la variación de la humedad relativa interior y exterior, mientras que las curvas inferiores corresponden a la variación en temperatura.

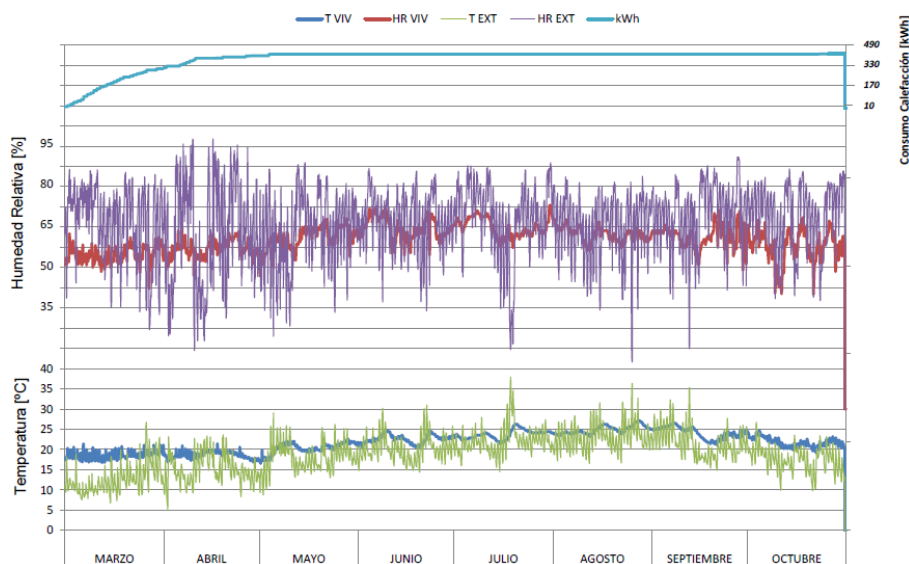


Figura 5. Curvas de temperatura.

\*Consultar informe completo para la totalidad de los resultados de la monitorización.



## Termografía de la fachada de la vivienda

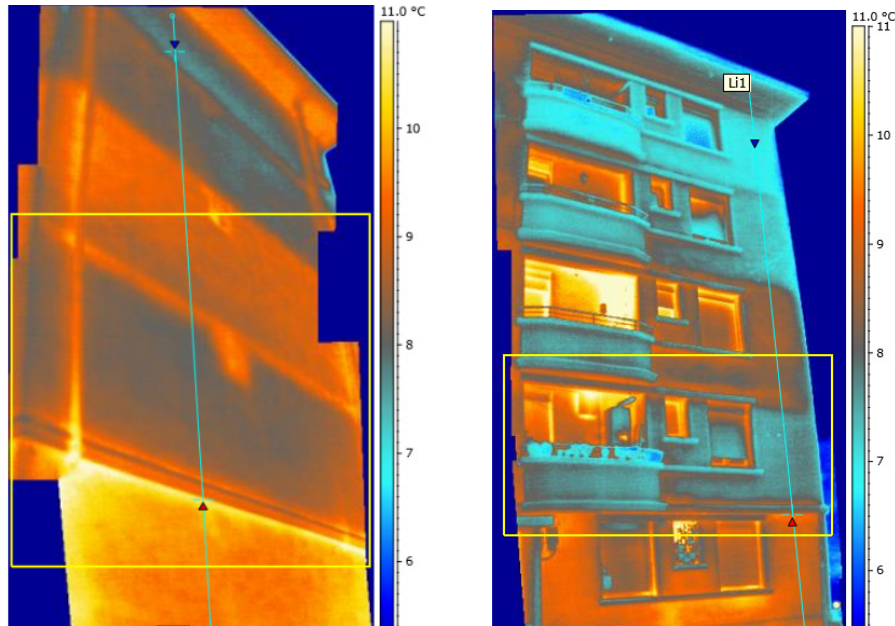


Figura 6. Termografías de las fachadas insufladas.

## CONCLUSIONES

- Las mediciones realizadas dentro del presente estudio energético han mostrado que el insuflado de cámara de aire en fachada con material aislante Supafil resulta efectivo en la mejora de las prestaciones térmicas del cerramiento y por tanto en la eficiencia energética de la vivienda.
- Diversos factores condujeron a que la monitorización energética solo fuese posible a partir del mes de marzo y en una única vivienda rehabilitada térmicamente con el insuflado de aislamiento en cámara.
- Sin embargo, los valores de consumo de calefacción monitorizados durante el mes de marzo y abril, así como la respuesta térmica observada en la vivienda permiten afirmar que es posible llevar estas viviendas a niveles de consumo C o superior con la técnica de insuflado.
- El análisis termográfico ha confirmado el efecto aislante del insuflado en cámara con reducciones de temperatura superficial de hasta 2°C respecto a las viviendas contiguas, con una diferencia entre interior y exterior cercana a los 10 °C.
- Este análisis termográfico también ha revelado la relevancia de los puentes térmicos, en particular en los frentes de forjado.
- La medida in-situ de la resistencia térmica ha determinado que la aplicación del material aislante Supafil por la técnica de insuflado en cámara en las viviendas aumenta 4 veces la resistencia térmica de fachada.
- Para la completa información del estudio, hay que consultar el informe emitido por el laboratorio vasco en posesión de la empresa fabricante de Supafil 034, Knauf Insulation.

# REMODELACIÓN DEL EDIFICIO DE MANTENIMIENTO DE LA UPM PARA LA SEDE DEL CENTRO DE INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO (ITDUPM)

**M. Alméstar**, Investigador, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM)  
**E. Caamaño-Martín**, Investigadora Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid  
**C. Mataix**, Director, Centro de Investigación E.T.S. Ing. Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
**J. Moreno**, Director Técnico, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM)  
**F. Olivieri**, Investigadora, E.T.S. de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid  
**S. Romero**, Investigadora, Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM)

**Resumen:** La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) a través de su Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM) está propiciando la generación de conciencia, conocimiento y soluciones innovadoras que contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible a través de su edificio que sirve como laboratorio vivo de pruebas para nuevas tecnologías verdes, sistemas de energías renovables y como plataforma de ideación colaborativa y activación social.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, Desarrollo Humano, Tecnologías Sostenibles, Campus Sostenible, Investigación Aplicada, Laboratorio Vivo

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Politécnica de Madrid, a través de su **Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUPM)**, está propiciando la transferencia de conocimiento y soluciones innovadoras que contribuyan al desarrollo de una sociedad más sostenible, tanto ambiental como social. Los fines del itdUPM contribuyen de este modo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un conjunto de metas impulsado por Naciones Unidas y aprobado en 2015 [1], con respaldo de la comunidad internacional que representan para el itdUPM el marco de referencia adecuado para establecer un diálogo entre la universidad y organizaciones de distinta naturaleza, pública, privada o comunitaria.

Desde el itdUPM se realiza una intensa labor de consciencia y difusión sobre los ODS, tanto dentro de la comunidad académica como fuera de ella. La muestra tangible de dicha contribución es su infraestructura física que representa nuestra visión del Campus universitario como un **laboratorio vivo para la sostenibilidad** (living lab) en nuestro contexto local, la ciudad de Madrid, en el Campus de Excelencia Internacional de Moncloa. **Un espacio de prueba y experimentación** impulsor de innovaciones sociales, políticas y económicas.

Al ser un “laboratorio vivo” la propuesta del edificio no se plantea como una estructura estática, sino en un ecosistema que muta de acuerdo con las distintas experimentaciones en pro de la búsqueda de una mayor **eficiencia y sostenibilidad**. Por ello, la primera fase del edificio consistió en la rehabilitación del antiguo edificio de mantenimiento de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos implementándola con sistemas pasivos de confort térmico, sensores de medición de indicadores bioclimáticos, así como primeras experimentaciones de aislante de transmitancia térmica con composición de materiales reciclados. La segunda fase, contempla la habilitación de espacios públicos, paneles fotovoltaicos, invernadero con recirculación de aire caliente proveniente del edificio, etc. Todas estas intervenciones forman parte de investigaciones de trabajos de fin de grado, fin de máster y/o doctorados.

## EL PROYECTO

A inicios del año 2000, en diferentes partes del mundo han ido surgiendo variadas iniciativas en las universidades para incorporar la sostenibilidad a su agenda, en la docencia, en la investigación y en las operaciones del campus, todo ello acompañado de un repetido discurso sobre la necesidad de colaborar con otras organizaciones.

A partir de estos objetivos y vinculados a diferentes Departamentos de Investigación de la Universidad Politécnica de Madrid, nace el **Centro de Innovación y Tecnología para el Desarrollo**. ItdUPM es un espacio que, debido a su carácter interdisciplinario aporta a la naturaleza urbana, a la ecoeficiencia y a la biodiversidad lo necesario para que se convierta en una práctica habitual en propuestas urbanísticas, arquitectónicas y políticas públicas.

La propuesta es la generación de un edificio bioclimático que sirva de referente experimental a toda la comunidad universitaria. El proyecto de edificación consta de dos fases. La primera consta de la rehabilitación del edificio y la puesta en marcha de los primeros prototipos experimentales; y la segunda de experimentaciones actuales y futuras:



Figura 1. Infraestructura antes y después de ser rehabilitada. Fuente propia.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El edificio ha sido sometido a una **rehabilitación energética**, que se ha centrado tanto en la parte estructural como en las instalaciones. Se ha intervenido sobre las paredes exteriores (*Detalles 1 y 2*) añadiendo una capa de aislante de lana mineral y un revestimiento interior. Además, se ha cambiado la cubierta de techo inclinado por una de techo plano no transitable de tipo invertido, aislándola con una capa de poliestireno extruido y una doble capa de impermeabilización (*Detalle 3*). Por último, se han puesto nuevas instalaciones para calefacción y refrigeración, más eficientes y que aseguran un consumo energético reducido, y se han reformado las instalaciones de electricidad.

La piel del edificio está constituida por una **malla metálica** que recubre la totalidad de la superficie sur, este y oeste y está formada por módulos predispuestos para acoger la inserción de las diferentes tecnologías experimentales que se han instalado y se instalarán en el exterior. Entre las experimentaciones que ya se han puesto en marcha está la monitorización de la **fachada vegetal** y del **recubrimiento experimental** realizado con paneles de materiales reciclados (caucho de llantas). La fachada vegetal se desarrolla en las paredes con orientación sur, este y oeste. Está formada por módulos de dimensiones estándar y acoplados para crear una superficie uniforme que se desarrolla sobre la estructura metálica. Los módulos fueron realizados durante los talleres organizados por el itdUPM con estudiantes, investigadores y profesores de la UPM, y coordinados por una empresa local que utiliza materiales reciclados.

La monitorización se basa en la comparación de las mediciones realizadas en términos de **temperaturas, flujo de calor, radiación solar, ruido y calidad del aire**, en las fachadas que incluyan o no vegetación. En un segundo momento se analizará el efecto de la fachada vegetal en el confort interior del edificio y en el microclima alrededor del mismo. Las temperaturas superficiales se obtienen gracias a los termopares que se han instalado en las diferentes capas que componen la envolvente del edificio. Los sensores están instalados en las fachadas vegetales sur y oeste (*Figura 3*) para poder medir la diferencia de temperatura y, por lo tanto, averiguar el efecto de la vegetación en las diferentes orientaciones.

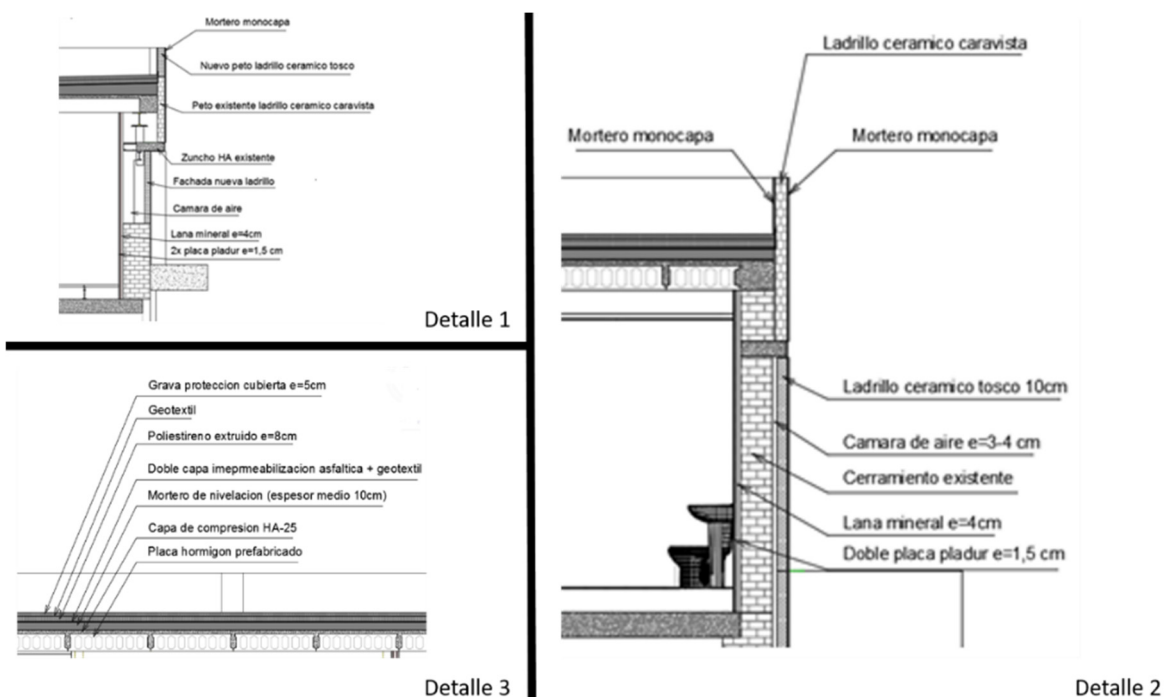


Figura 2. Detalles constructivos: Detalle 1: Sección pared este y oeste, Detalle 2: Sección pared norte y sur, Detalle 3: Sección cubierta. Fuente propia.

La presencia de tres sustratos diferentes utilizando en los paneles que componen la fachada vegetal, está a la base de otra experimentación cuyo objetivo es caracterizar las propiedades termo-físicas de los sustratos. Los sustratos están constituidos por mezclas experimentales constituidas principalmente por materiales orgánicos. El análisis empezará con mediciones y pruebas que se realizarán en el Laboratorio de Materiales de la ETSAM, para obtener las características físicas de conductividad térmica, retención de humedad, absorción acústica, etc., de cada sustrato al variar su contenido de humedad. En un segundo momento se compararán los resultados de laboratorio con las mediciones obtenidas a la escala real en el edificio.

Objetivo de las experimentaciones en marcha es la investigación sobre los "materiales verdes": en este sentido se están evaluando el comportamiento termo-acústico y la durabilidad de paneles de recubrimiento de fachada realizados con caucho reciclado como materia prima. En la fachada norte del edificio se ha instalado un sistema de recubrimiento patentado y producido en la Facultad de Arquitectura, que ha desarrollado **dos sistemas de fachadas diferentes utilizando caucho reciclado de neumáticos fuera de uso**. El primer está constituido por un tablero termo-conformable producido sin resinas tóxicas y con fibras naturales (yute). El segundo está constituido por un mortero de material compuesto de caucho, fibras, cemento y arcilla expandida, para producir tableros alveolares que permiten mejorar el comportamiento térmico de la fachada.

En la actualidad, y en coherencia con el objetivo de espacio vivo de prueba y experimentación con el que ha sido concebido el itdUPM, se está desarrollando una segunda fase de experimentaciones en conjunto con empresas, organismos públicos, ONG's y la comunidad universitaria, con la cual se pretende dar continuidad a líneas de investigación ya iniciadas, así como abordar nuevos retos asociados a la sostenibilidad en la edificación. En particular:

- Se está diseñando un invernadero, para agricultura urbana en altura, ubicado en la terraza que durante el invierno recicle los gases contaminantes de una calefacción central. Mediante ventiladores llevaríamos los gases retenidos en la zeolita al invernadero. Se establecerá una infraestructura de conducción de gases de calefacción. Los resultados obtenidos por el módulo experimental nos permitirán conocer cuál sería el impacto en el área metropolitana de Ciudad Universitaria, en la mejora del medioambiente durante el periodo de funcionamiento de las calefacciones en viviendas y fábricas, si se aplicase de forma extensiva el proyecto propuesto.

- Se está diseñando una pérgola fotovoltaica multifuncional que, además de suministrar las necesidades de energía eléctrica del edificio, proporcione un espacio de encuentro para reuniones de trabajo, visitas, etc. El diseño preliminar realizado consiste en una estructura modular de dientes de sierra orientados al sur e inclinados 5º, que integre elementos fotovoltaicos específicamente diseñados para su integración en edificios. Para lograr elevados niveles de autosuficiencia eléctrica (se pretende un 100% de cobertura de la demanda del edificio), la pérgola se completará con dos inversores, sistemas de almacenamiento eléctrico y un sistema de control inteligente que, además de supervisar en tiempo real el consumo, gestione las cargas eléctricas --con un énfasis especial en el sistema de climatización, formado por bombas de calor reversibles-- e interactúe con la red eléctrica, enviando los eventuales excedentes de generación no consumida (ni almacenada) para su uso por parte de los edificios adyacentes de la UPM.

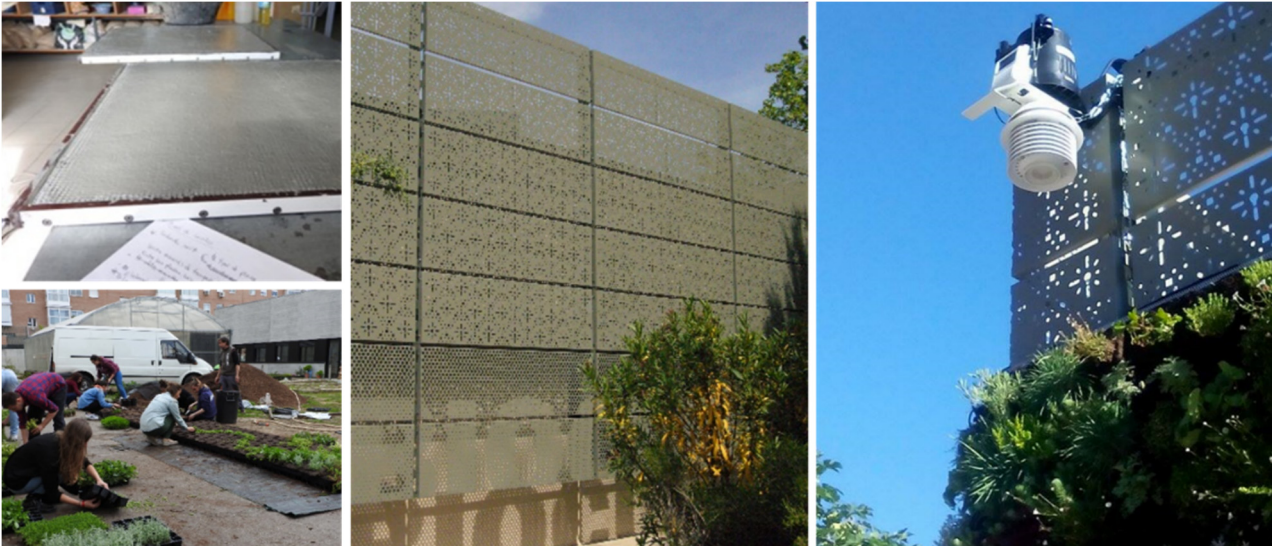


Figura 3. Prototipos experimentales de la Fase 1. Fuente propia.

Con esta intervención se pretende complementar investigaciones realizadas en a UPM sobre la temática de la “Gestión Activa de la Demanda de edificios con tecnologías renovables”, llevadas a cabo en el ámbito de la vivienda en el demostrador *Magic Box*, ubicado en la E.T.S.I. Telecomunicación. Se plantea también, que los resultados sean aprovechables para proyectos futuros que puedan realizarse en otros edificios de la UPM, en línea con el Plan de Sostenibilidad de la UPM presentado en junio de 2017.

## RESULTADOS HASTA LA FECHA

Producto de las intervenciones sobre las paredes exteriores se ha conseguido un valor de transmitancia térmica  $U=0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ . El resultado obtenido mediante la piel vegetal persigue un análisis de los efectos que tienen la envolvente vegetal sobre el edificio y de su impacto sobre el microclima urbano del Campus, reduciendo el consumo de sistemas activos de energía. Los tratamientos de aislamiento con material reciclado se encuentran sometidos a monitorización y están siendo comparados con otros sistemas comerciales con el fin de comparar su rendimiento, dando ya desde un inicio resultados favorables.

Las instalaciones para calefacción y refrigeración formarán parte de las intervenciones para el reciclado de los gases contaminantes de una calefacción central. Mediante ventiladores llevaríamos los gases retenidos en la zeolita al invernadero. Se establecerá una infraestructura de conducción de gases de calefacción. Los resultados obtenidos por el módulo experimental nos permitirán conocer cuál sería el impacto en el área metropolitana de Ciudad Universitaria, en la mejora del medioambiente durante el periodo de funcionamiento de las calefacciones en viviendas y fábricas, si se aplicase de forma extensiva el proyecto propuesto. La segunda fase del edificio se encuentra en marcha esperando una conclusión de la misma para agosto del 2018.

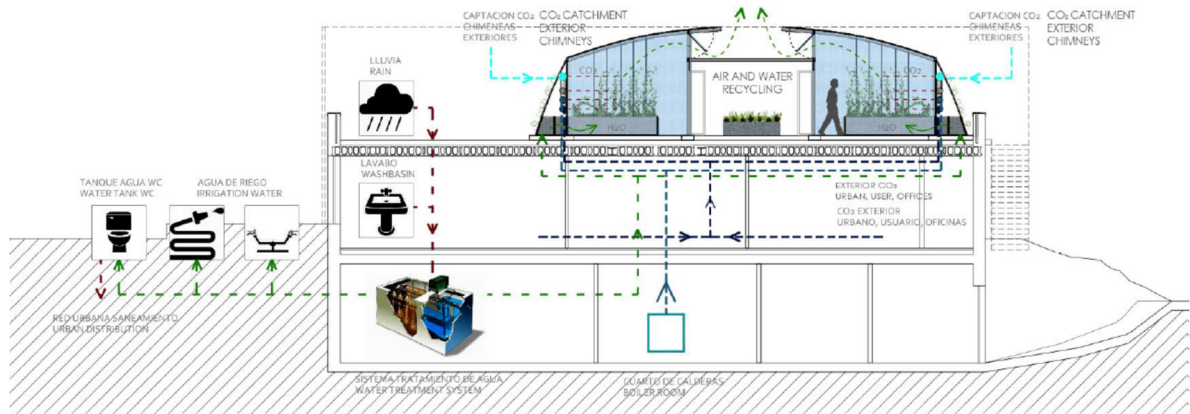


Figura 4. Módulo experimental: Invernadero reciclador. Fuente propia.



Figura 5. Módulo experimental: Pérgola fotovoltaica. Fuente propia.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estos hallazgos demuestran que los sistemas de confort pasivo permiten la reducción del consumo energético. Tanto la utilización de materiales reciclados, como la aplicación de tecnologías en beneficio de la mejora de la habitabilidad, representan la línea que los profesionales debemos contemplar en nuestras intervenciones. La retroalimentación de la empresa en una plataforma académica donde investigadores, profesores y a alumnos se vinculan es una fórmula comprobada de innovación y desarrollo. Además, este diseño colaborativo permite generar la plataforma de pruebas y experimentaciones en una escala menor, que es el campus universitario, para luego elevarlo a una escala ciudad.

La trayectoria recorrida en estos primeros cinco años de existencia del itdUPM, y su continuidad planteada en la segunda fase de experimentaciones descritas en esta comunicación, constituyen un ejemplo de sinergia multi-actor entre universidad, empresas e instituciones en la búsqueda de respuestas y soluciones a los retos que plantea la ineludible necesidad de incorporar la sostenibilidad en todas las escalas del desarrollo humano.

## REFERENCIAS

- [1] United Nations (2015). Sustainable Development Goals. 2015 Time for global action for people and planet, New York Summit. [http://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2015/08/Factsheet\\_Summit.pdf](http://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2015/08/Factsheet_Summit.pdf)

# LA PARTICIPACIÓN COMO MECANISMO PARA SUPERAR LAS BARRERAS SOCIALES A LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

**Cecilia Segovia Collado**, Arquitecta Máster en Intervención Sostenible Medio Construido, Univ.Politécnica Catalunya

**Resumen:** A pesar de que la rehabilitación de edificios existentes es una estrategia necesaria para mitigar el cambio climático, la renovación energética del parque residencial no acaba de despegar. El objetivo de esta investigación fue identificar, mediante la revisión de literatura y la consulta a expertos, las barreras y argumentos existentes a la rehabilitación energética desde el punto de vista de las comunidades de vecinos para posteriormente evaluar el papel que las metodologías participativas pueden tener a la hora de debilitar dichas barreras. En el desarrollo de la investigación se constató que aunque la participación puede influir positivamente en los procesos, no es suficiente para solucionar todas las barreras existentes. Sin embargo, sí que tiene capacidad de atacar a las barreras sociales, entendiendo éstas como los problemas asociados a la ejecución de un proyecto complejo desde el punto de vista organizacional debido a la presencia de múltiples actores, entre los que destacan los diferentes propietarios en un parque principalmente plurifamiliar.

**Palabras clave:** Rehabilitación Energética, Vivienda Colectiva, Barreras, Participación, Social

## INTRODUCCIÓN

El modelo energético actual basado principalmente en el uso de combustibles fósiles conlleva serias consecuencias medioambientales entre las que destaca el cambio climático. Por ello, la transición energética hacia un modelo sostenible en el que la energía consumida se reduzca y en el que ésta provenga de fuentes de energía renovables y de proximidad es urgente. Para conseguir reducir el consumo de energía la rehabilitación del parque edificado existente es esencial. Si nos centramos sólo en la rehabilitación del parque residencial, además de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> se conseguiría mejorar la calidad de vida de los habitantes mejorando el confort de sus viviendas. No obstante, a pesar de las ventajas conocidas, de los avances técnicos y de los incentivos que se dan desde las políticas públicas para que los propietarios emprendan obras de rehabilitación, el ritmo de éstas sigue siendo lento en España. Esto podría deberse, entre otras razones, a una de las características del parque residencial español: la estructura plurifamiliar de la propiedad. El reto en este sentido es la presencia de múltiples propietarios (Buessler et al., 2016), que dificulta la gestión y la financiación.

## Metodología de investigación

Mediante la revisión de literatura se identifican las barreras y argumentos para ejecutar obras de rehabilitación energética desde el punto de vista de los vecinos. Así se elabora un listado preliminar de barreras y argumentos que sirve como herramienta para consultar a expertos que han trabajado en proyectos de rehabilitación en el ámbito español. Se realizan una serie de entrevistas para completar el listado y valorar si algunos son más determinantes que otros a la hora del éxito o fracaso de un proceso de rehabilitación. Tras esto, se evalúa cuáles de las barreras se pueden derribar con participación.

## IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS Y ARGUMENTOS A LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

En las tablas I y II se enumeran las barreras en contra y argumentos a favor desde el punto de vista de los de vecinos a la rehabilitación. Éstos se han ordenado dividiéndolos en cinco ámbitos: social, financiero, legislativo, técnico y medioambiental. Tener claros estos elementos y las relaciones que se dan entre ellos permitiría anticiparse a los posibles escenarios que se puedan presentar.

BARRERAS		Referencias	
SOCIALES	1. Problemas para llegar al consenso entre los vecinos.	Buessler et al. (2016)	
	2. Falta de confianza en el resto de actores presentes en el proceso.		
	3. Falta de información y concienciación.		
	4. Exigencia de dedicación al proyecto (asambleas, reuniones, etc.)		
	5. Proceso largo. Alrededor de 5 años desde que se empieza a hablar de la intervención hasta que se ejecuta.		
	6. Transitoriedad de los ocupantes.		Altmann (2014)
	7. Pisos propiedad de entidades financieras.		Entrevistas expertos.
	8. Percepción de que son obras innecesarias.		Ruiz Palomeque (2015)
	9. Molestias obra.		Karvonen (2013)
FINANCIERAS	10. Alto coste inicial de la intervención.	Altmann (2014)	
	11. Largos periodos de retorno.	Buessler et al. (2016)	
	12. Dificultad para conseguir financiación.	Entrevistas expertos.	
	13. Inseguridad a la hora de conseguir subvención.		
	14. Multiplicidad de posibles subvenciones. Provoca confusión.		Buessler et al. (2016)
	15. Inexistencia de mecanismos financieros apropiados para las comunidades de propietarios.	Entrevistas expertos.	
	16. Obligación de tributar el monto de la subvención al año siguiente.		
17. Tardanza en cobrar las subvenciones.			
LEGISLATIVAS	18. Plazos diferentes de proyecto y de las ayudas.	Entrevistas expertos.	
	19. Periodos administrativos largos (obtención licencias obra, etc.)		
	20. Problemas de normativa para aumentar edificabilidad por la intervención.		
TÉCNICAS	21. Desconocimiento de los aspectos técnicos del edificio.	Entrevistas expertos.	
	22. Dificultad para encontrar asesoramiento en el proyecto.		
MEDIO-AMBIENTALES	23. Riesgo de que la intervención no acabe bajando los gastos energéticos (efecto rebote).	Galvin (2014)	

Tabla I. Barreras a la rehabilitación energética desde el punto de vista de las comunidades de vecinos.

ARGUMENTOS		Referencias
SOCIALES	1. Posibilidad de realizar las obras sin abandonar la vivienda.	Entrevistas expertos.
	2. Beneficios para la salud de los ocupantes.	
	3. Impacto positivo en viviendas y comunidad. Más estatus social.	
FINANCIEROS	4. Ahorro tras recuperar la inversión.	Brisepierre (2014)
	5. Posibilidad de conseguir subvención.	Rubio del Val (2011)
	6. Menores gastos derivados del consumo de energía.	Scott et al. (2014)
	7. Subida de valor del precio de la vivienda.	Altmann (2014)
	8. Evitar obsolescencia del edificio y prologar su ciclo de vida.	Becchio et al. (2016)
LEGISLATIVOS	9. Cumplir con las leyes vigentes.	Altmann (2014)
	10. Cambios legislativos favorables a la rehabilitación.	Ruiz Palomeque (2015)
TÉCNICOS	11. Arreglar otros problemas del edificio (estado fachadas, ascensor, instalaciones antiguas, etc.)	Karvonen (2013)
	12. Menos mantenimiento.	Becchio et al. (2016)
	13. Mejorar condiciones de confort de las viviendas.	
MEDIO-AMBIENTALES	14. Reducción de dependencia energética del exterior.	Brisepierre (2014)
	15. Reducción del impacto ambiental.	Scott et al. (2014)

Tabla II. Argumentos a la rehabilitación energética desde el punto de vista de las comunidades de vecinos.



En la figura 1 se representan gráficamente las relaciones entre las barreras; los argumentos que se pueden contraponer a éstas y cuáles de ellas se pueden resolver o se ven intensificadas por las metodologías participativas; todas estas relaciones se justificarán a continuación.

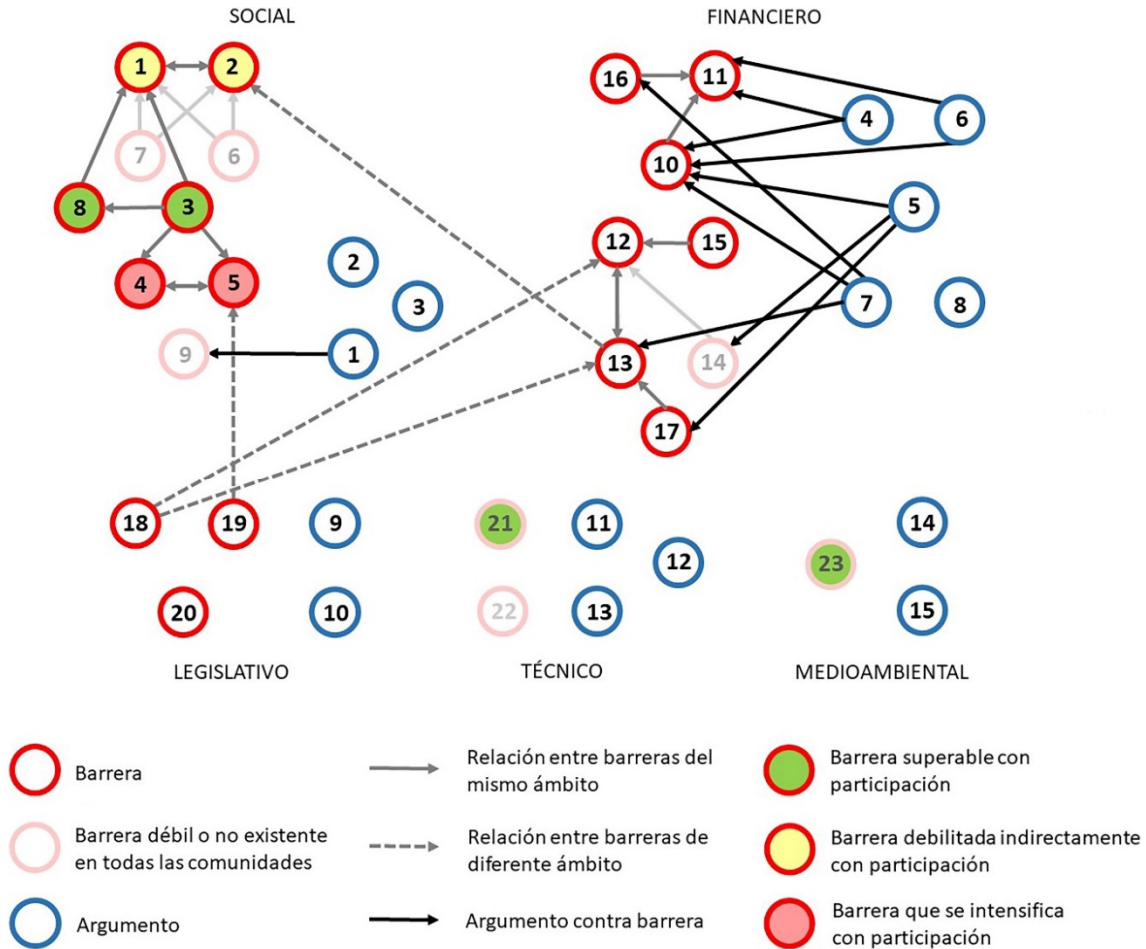


Figura 1. Relación entre barreras; Argumentos contra barreras; Barreras superables e intensificadas con participación. (Los números que representan cada barrera y argumento son los especificados en las tablas I y II).

## Relación entre barreras

Analizar la relación entre las barreras es importante para determinar cuáles funcionan como multiplicadoras de otras, pudiendo así saber si al actuar en una se está atacando indirectamente también a las que se vinculan con ella.

- En el **ámbito social**, la falta de información y concienciación es la barrera que funciona como la multiplicadora más importante, pues intensifica a su vez los obstáculos que tienen que ver con la dedicación que requiere el proyecto, la longitud del proceso y en la percepción de que son obras innecesarias. El hecho de que la gente no esté concienciada, no tenga información, y por tanto desconozca las ventajas que conlleva la rehabilitación influye directamente en que crean que acometer esas obras, a las que además no están obligados por ley, es innecesario. Si se quiere revertir esto, habría que dedicar tiempo a informar y concienciar a las comunidades de vecinos. El que la información y/o concienciación de cada uno de los propietarios sea distinta dificulta también el llegar a consenso entre los vecinos sobre la ejecución del proyecto. La incapacidad de llegar a un acuerdo y la falta de confianza en el resto de actores son dos barreras que se pueden retroalimentar la una a la otra. Las opiniones de los actores sobre que no generen confianza no tendrán credibilidad para el resto de los

participantes. Por otra parte, si durante el proceso la incapacidad para llegar al consenso es un problema, se pueden generar roces que acaben debilitando las relaciones y aparezca la desconfianza. Otras barreras, no siempre presentes pero que dificultan la capacidad de llegar a acuerdos entre los vecinos cuando aparecen son la transitoriedad de los ocupantes y la existencia de pisos propiedad de entidades financieras. Estos dos factores añadirían más incertidumbre al proceso.

- En el **ámbito financiero**, las barreras se podrían dividir en dos grupos, las que tienen que ver con el coste de la intervención y las que tienen que ver con la consecución de financiación y/o subvenciones. En el primer grupo, el principal obstáculo sería el alto coste inicial, que actúa como multiplicador sobre los largos periodos de retorno. Sobre lo anterior influye la obligación a tributar al siguiente año en la declaración de la renta el monto de la subvención. En lo referente a la financiación y/o subvenciones, la barrera principal sería la dificultad para conseguir financiamiento. Sobre ésta actúa como multiplicador la inseguridad de conseguir subvención, que a su vez se vería intensificada por la tardanza en cobrar las ayudas. Debido a esta tardanza, los propietarios se ven obligados a adelantar el dinero generándose un sentimiento de inseguridad ante la posibilidad de que finalmente esta ayuda no llegue. Esto influye también en la confianza entre los actores presentes, concretamente minando la confianza de la comunidad de propietarios en la administración. Sobre la dificultad de conseguir financiación influyen también la multiplicidad de subvenciones y la inexistencia en el mercado de mecanismos financieros apropiados para las comunidades de propietarios. En el caso de las subvenciones, éstas suelen ser incompatibles unas con otras, siendo necesario un estudio exhaustivo para decidir cuál es más beneficiosa, cosa que suele resultar ardua y confusa.
- En el **ámbito legislativo**, la barrera de los plazos diferentes de las ayudas y los proyectos actúa también como multiplicador de dos obstáculos del ámbito financiero: la dificultad de conseguir financiamiento y la inseguridad de conseguir una subvención. Los plazos diferentes pueden ocasionar que teniendo el proyecto no se tenga seguridad de cuándo se publicarán las ayudas o lo que es peor, que no haya tiempo suficiente para tener el proyecto listo una vez que acabe la convocatoria. Los periodos administrativos largos influyen directamente en una barrera del ámbito social, la referente a lo prolongado del proceso.

En los ámbitos técnico y medioambiental no se dan relaciones entre las barreras.

## Argumentos contra barreras

Una vez identificadas las relaciones entre las barreras, se analiza qué argumentos pueden rebatirlas, con el objetivo de conocer qué obstáculos no tienen argumento que los debilite.

- En el **ámbito social**, tan sólo las molestias a causa de la obra cuentan con un argumento que la contrapone, que sería la posibilidad de hacer la rehabilitación sin abandonar la vivienda.
- En el **ámbito financiero**, el principal argumento es la subida de valor del precio de la vivienda, que ataca al alto coste inicial de la intervención, a la inseguridad a la hora de conseguir subvención y a la obligación de tributar la subvención. Seguidamente estarían el ahorro tras recuperar la inversión y los menores gastos derivados del consumo de energía, que se contraponen al alto coste inicial de la intervención y a los largos periodos de retorno. La posibilidad de conseguir subvención es capaz de atacar también al alto coste inicial de la intervención. Contra la multiplicidad de subvenciones se podría argumentar que así al menos aumentan las posibilidades de conseguir financiamiento. La tardanza en cobrar las ayudas podría ser atacada por el argumento de la posibilidad de conseguir subvención.

En el resto de ámbitos no existen argumentos que ataquen directamente a las barreras identificadas.

## LA PARTICIPACIÓN COMO FACILITADORA DE LA REHABILITACIÓN

Una vez identificadas las barreras a la rehabilitación y los argumentos que pueden rebatirlas, encontramos que son numerosos los obstáculos que no tienen argumento que los ataque. Esto ocurre sobre todo en el ámbito social. Es interesante entonces evaluar el alcance que la participación puede tener para debilitar las barreras de este ámbito, que los expertos señalaron, junto con el financiero, como el más importante para los vecinos a la hora de la toma de decisiones.

La participación tiene una gran potencialidad para facilitar los procesos sociales que se dan en torno a los proyectos de rehabilitación, siendo capaz de actuar a dos niveles diferentes. El primer nivel tiene que ver con el traspaso de

información que los técnicos u otros profesionales presentes pueden hacer a los vecinos gracias a su conocimiento en profundidad del tema de la rehabilitación. El segundo nivel tiene que ver con la relación más cercana que las metodologías participativas propician entre todos los actores presentes. Esta cercanía es capaz de crear vínculos basados en la confianza que faciliten los procesos.

En el primer nivel de traspaso de información, las actividades más comunes son los talleres de concienciación, las visitas a edificios rehabilitados energéticamente, los talleres de cambio de comportamiento en el uso de la energía y los talleres de monitorización del uso de la energía. Mediante su implementación se podrían debilitar las siguientes barreras:

- **La falta de información y de concienciación.** Esta barrera puede atacarse directamente con talleres de concienciación y visitas a edificios rehabilitados energéticamente. La ventaja de las visitas a edificios rehabilitados es que los vecinos conocen personalmente a otros beneficiarios que pueden explicarles las ventajas de la rehabilitación desde un punto de vista que se asemeja más al suyo que el de los técnicos.
- **Percepción de que son obras innecesarias.** Esta barrera sería atacada del mismo modo que la anterior.
- **Desconocimiento de los aspectos técnicos del edificio.** Esta barrera se debilitaría mediante los talleres de concienciación enseñando a los vecinos cómo es su edificio y su comportamiento térmico.
- **Riesgo de que la intervención no conlleve el ahorro energético esperado.** Esta barrera se atacaría directamente con talleres de cambio de comportamiento y de monitorización en el uso de la energía. El objetivo principal es concienciar con respecto a un uso de la energía responsable y evitar el posible efecto rebote tras la rehabilitación.

Mediante la relación más cercana entre actores que se consigue con la participación se debilitarían además dos de las principales barreras sociales señaladas por los expertos. Éstas serían:

- **Falta de confianza** en el resto de actores presentes en el proceso de rehabilitación. Existen estudios que evidencian la importancia de los contactos informales entre los actores, tanto vecinos como técnicos, para tejer redes de confianza esenciales para el éxito de los proyectos. (Hauge et al., 2012). La participación propiciaría estos contactos.
- **Problemas para llegar al consenso** entre los vecinos. Todos los expertos consultados coinciden en que poner a todos los vecinos de acuerdo en torno a la rehabilitación es difícil independientemente del número de propietarios, y que es algo que tiene más que ver con el nivel de confianza entre ellos. Ya hemos visto que la confianza puede aumentar con la participación.

Potenciar la cohesión social mediante la participación debería ser un objetivo no sólo a nivel de comunidad de vecinos, sino también a escala barrio, pues existen evidencias de la influencia que tienen los contactos informales y las redes sociales en el efecto contagio que se puede dar en otros edificios cercanos. Para esto se deberían fomentar programas a escala barrio con un componente comunitario que complementen a los de enfoque más tradicional basado en los incentivos económicos y las ayudas. (Karvonen, 2013).

A pesar de los beneficios de la participación, existen también dos barreras del ámbito social se verían intensificadas directamente por las metodologías participativas. Éstas serían la exigencia de dedicación al proyecto y lo prolongado de los procesos. Para minimizar el tiempo dedicado a estas actividades y reducir así este obstáculo sería importante intentar reducir el número de sesiones a las mínimas para conseguir los objetivos, así como planificar bien los tiempos de cada sesión.

Para aprovechar las potencialidades de la participación y para minimizar sus consecuencias negativas es necesario formar equipos de trabajo multidisciplinares en los que se incluyan profesionales de las áreas sociales. Así se podrían crear estrategias a escala barrial donde se trabaje con las organizaciones sociales presentes en el territorio y hacer un trabajo más personalizado con cada una de las comunidades de vecinos que se interesen en la rehabilitación.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación evidencia la existencia de múltiples obstáculos a la rehabilitación energética desde el punto de vista de los vecinos que no pueden debilitarse con los argumentos a favor de la renovación. Entre esos obstáculos destacan las barreras del ámbito social, donde las metodologías participativas tienen un gran campo de acción tanto a escala comunidad de vecinos como a escala barrio.

Teniendo en cuenta las barreras y argumentos existentes, la relación entre éstos y el alcance que puede tener la participación para facilitar la renovación de los edificios se podrían crear desde la administración pública programas de intervención social y urbana que persigan la rehabilitación energética sistémica del parque residencial mediante una gestión activa. Esto difiere de la postura pasiva actual de la administración, que se limita a ofrecer incentivos económicos a los posibles interesados en lugar de intentar potenciar el que las comunidades se interesen por estas intervenciones.

## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesina de máster, Albert Cuchí Burgos, por haberme guiado y ayudado durante el proceso de esta investigación y a todos los expertos que han participado en las entrevistas.

## REFERENCIAS

- Altmann, E., 2014, Apartments, Co-ownership and Sustainability: Implementation Barriers for Retrofitting the Built Environment. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 16(4), 437–457.
- Becchio, C., Corgnati, S. P., Delmastro, C., Fabi, V., & Lombardi, P., 2016, The role of nearly-zero energy buildings in the transition towards Post-Carbon Cities. *Sustainable Cities and Society*, 27.
- Brisepierre, G., 2014, Comment se décide une rénovation thermique en copropriété? Un nouveau mode d'organisation de l'habitat comme condition de l'innovation énergétique. *Flux*, 96, 31–39.
- Buessler, S., Badariotti, D., & Weber, C., 2016, Evaluating the complex governance arrangements surrounding energy retrofitting programs: The case of collective ownership buildings in France. *Energy Research and Social Science*, 32, 131–148.
- Hauge, Å. L., Magnus, E., Denizou, K., & Øyen, C. F., 2012, The meaning of rehabilitation of multi-story housing for the residents. *Housing, Theory and Society*, 29, 358–381.
- Karvonen, A., 2013, Towards systemic domestic retrofit: a social practices approach. *Building Research & Information*, 41(5), 563–574.
- Rubio del Val, J., 2011, Rehabilitación Urbana en España (1989-2010). Barreras actuales y sugerencias para su eliminación. *Informes de la Construcción*, 63, 5–20.
- Ruiz Palomeque, G., 2015, Gestión de la rehabilitación sostenible en grandes conjuntos de las periferias urbanas por las administraciones públicas locales. *Informes de La Construcción*, 67, 1–13.
- Scott, F. L., Jones, C. R., & Webb, T. L., 2014, What do people living in deprived communities in the UK think about household energy efficiency interventions?, *Energy Policy*, 66, 335–349.
- Galvin, R., 2014, Making the “rebound effect” more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: Defining the “energy savings deficit” and the “energy performance gap.” *Energy and Buildings*, 69, 515–524.

# INFLUENCIA DE LA MOVILIDAD URBANA EN LOS EDIFICIOS EECN

**Ignacio Prieto Leache**, Arquitecto, Tragsatec, Grupo Tragsa  
**Víctor Soler Gómez**, Arquitecto, Tragsatec, Grupo Tragsa

**Resumen:** La consecución de edificios de consumo casi nulo (EECN) y la movilidad de sus usuarios están estrechamente relacionadas. El diseño de los edificios determina la movilidad y el consumo energético asociado. Además, los vehículos eléctricos incrementarán el consumo del propio edificio. Desde el Grupo Tragsa se presentan medidas aplicadas y resultados para mejorar la movilidad en sus oficinas, tales como el incremento de videoconferencias, la optimización del uso de garajes o la promoción de la movilidad activa.

**Palabras clave:** Isla de Calor, Movilidad Sostenible, Movilidad Activa, Movilidad Compartida

## INTRODUCCIÓN

El sector transporte es el que más energía consume en España: un 42% frente al 30% vinculado a la edificación; y los desplazamientos domicilio-trabajo representan una fracción importante del mismo. La consecuencia es un modelo urbano que demanda grandes infraestructuras para los vehículos motorizados, y que determina el diseño de la ciudad y su calidad ambiental.



Figura 1. Ocupación del espacio urbano. Izda.: Zonificación en zona oficinas Madrid (Tragsatec, c/ Julian Camarillo) Dcha.: Aparcamiento de vehículos en polígono empresarial Madrid (polígono Simancas).

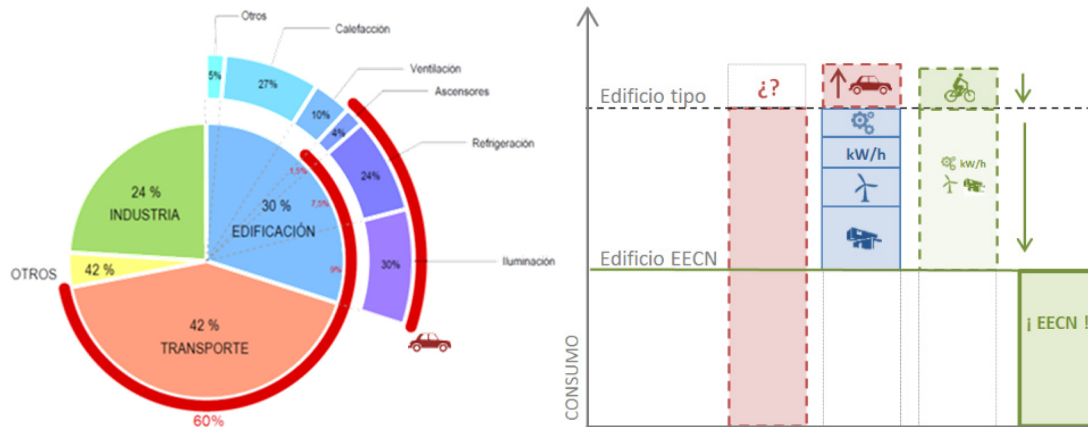


Figura 2. Afección de movilidad al Consumo energético global y al consumo energético en edificio de oficinas (dcha.). Aspectos en los que intervenir para conseguir un edificio EECN, incluyendo la movilidad (izda.).

Este sistema, en el que predomina el coche motorizado privado, afecta también al consumo energético de los edificios. Un cambio en el concepto de movilidad urbana, apostando por la movilidad sostenible, permitirá reducir el consumo energético tanto a nivel global como a nivel particular, en cada edificio.

## CONCEPTOS BÁSICOS

Para conseguir un edificio EECN, el esfuerzo de diseño debe realizarse en la reducción del consumo energético, la utilización de energías renovables, la eficiencia de los sistemas de instalaciones, y el diseño bioclimático. Pero existe además otro factor que influye en la consecución de un edificio EECN: la movilidad urbana. Para comprender su influencia es necesario considerar:

### Efecto isla de calor y calidad del aire

Actualmente se destina más del 25% del suelo urbano [1] al tráfico rodado. El efecto isla de calor es un fenómeno térmico que consiste en el incremento de la temperatura, incluso hasta 6°C [2], motivado por la suma de varios factores: el asfalto, el calor cedido por los sistemas de climatización de edificios, el calor desprendido por los motores y emisiones de los vehículos, y la gran cantidad de superficie metálica concentrada en zonas urbanas (7,5 m<sup>2</sup> por cada vehículo, y gran cantidad de cubiertas de edificios).

Este incremento de temperatura ambiental exterior se traduce en una mayor necesidad de refrigeración en los edificios para poder mantener las condiciones ambientales interiores.

Por otro lado, los vehículos a motor son los principales emisores contaminantes en la ciudad (tanto por combustión como por desgaste de frenos). Además de las malas consecuencias para la salud de los habitantes y el medioambiente, estas emisiones afectan al rendimiento de la climatización de edificios (colmatación de filtros), e incrementan su tiempo de servicio o potencia. Obliga además a redoblar el esfuerzo (energético) para conseguir una calidad de aire interior adecuada.

### Auge de los vehículos eléctricos

Se estima que en 2040 uno de cada cuatro coches en circulación será eléctrico. La Administración Pública Española está impulsando ese sector mediante ayudas (Plan Movea) y normativa específica (ITC BT-52) [3], donde se establece la obligatoriedad de instalar una estación de recarga de vehículos eléctricos por cada 40 plazas de aparcamiento.

La tendencia del sector automovilístico es ya manifiesta, y este aspecto también supondrá un incremento del consumo eléctrico del edificio por recarga de vehículos.

### Ocupación del edificio: salud, estancias vacías y desplazamientos

El funcionamiento de las instalaciones de los edificios, y especialmente en edificios de oficinas, está vinculado al horario laboral, independientemente de su ocupación. Este consumo base es más efectivo cuando el edificio está completamente ocupado, y por el contrario, representa un derroche energético cuando existen estancias sin ocupación ventiladas y climatizadas.

Las causas de este absentismo en oficinas son: bajas laborales (especialmente enfermedades respiratorias y otorrinolaringológicas, depresión, lumbalgia o dolencias motivadas por el sedentarismo) y reuniones fuera del edificio, que implican desplazamientos de personal.

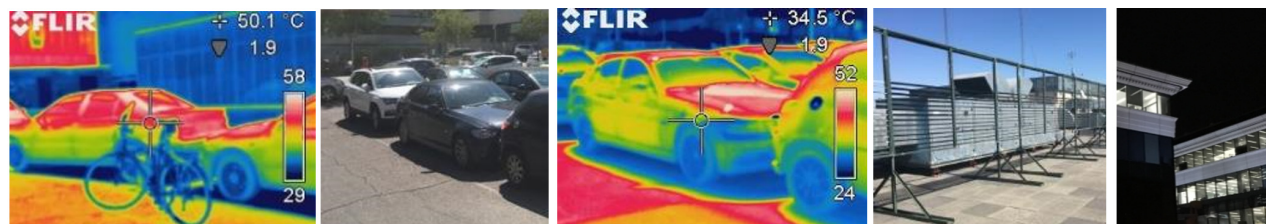


Figura 3. Termografías y fotografías en entorno urbano: Vehículos, asfalto, cubiertas e instalaciones, y media ocupación.

## MOVILIDAD SOSTENIBLE PARA REDUCIR EL CONSUMO

Las afecciones descritas (isla de calor, calidad del aire, carga vehículos eléctricos y ocupación) pueden ser contrarrestadas con acciones para la mejora de la movilidad en el edificio y su entorno. La suma de las siguientes medidas planteadas genera un beneficio ambiental y una reducción en el consumo final de cada edificio.

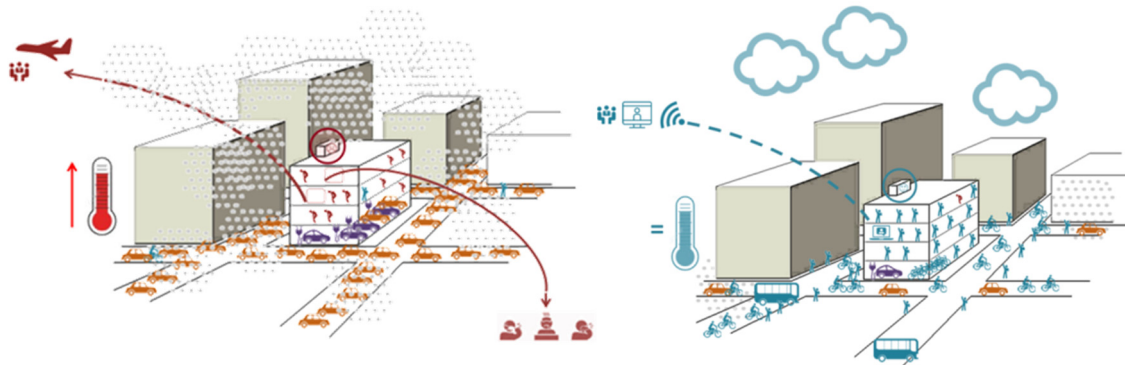


Figura 4. Esquema comparativo de afecciones en el edificio según el tipo de movilidad.

## Movilidad compartida

El máximo aprovechamiento de la capacidad de cada vehículo permite conseguir un uso eficiente del transporte. Tanto el transporte público como el coche compartido disminuyen el ratio de contaminación por ocupante, la cantidad de vehículos ocupando espacio urbano, y la necesidad de infraestructuras.

## Movilidad activa

Los beneficios de los desplazamientos caminando o en bicicleta son múltiples: combaten el sedentarismo y el estrés; previenen las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la diabetes; reducen la contaminación ambiental (cero emisiones y ruido); y provocan el calmado del tráfico. Esta movilidad puede además trasladarse al interior del edificio, fomentando el uso de las escaleras y reduciendo el de los ascensores.

## Gestión de los desplazamientos

En el ámbito laboral, los desplazamientos pueden sustituirse por videoconferencias, que permiten una comunicación fluida sin necesidad de desplazamiento y facilitan el contacto con múltiples localizaciones. Por otro lado, una buena planificación permite disponer de los vehículos compartidos repartidos por la ciudad (coches motos y bicicletas), que permiten prescindir del vehículo privado o de parte de la flota empresarial. Plataformas web y aplicaciones móviles para compartir desplazamientos completan las alternativas al vehículo motorizado privado.



Figura 5. Ocupación espacio; personas por vehículo; movilidad compartida; bici compartida; videoconferencia. Fuentes: El País; Promoción del Transport Público; Tragsa; Bicing; itsitio.

## CASO DE ESTUDIO: GRUPO TRAGSA

### La movilidad sostenible como principio rector

El Grupo Tragsa es un conjunto de empresas públicas integradas en la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI). Su vocación es proporcionar a las Entidades Públicas soluciones eficientes que contribuyan a la gestión de sus necesidades en el ámbito medioambiental, de desarrollo rural, de gestión de recursos y procesos, o mediante la

adaptación y aplicación de la experiencia y conocimientos desarrollados en dichos ámbitos a otros sectores de la actividad administrativa.



Figura 6. Logo Imagen Grupo TRAGSA.

El cuidado en el impacto medioambiental del desarrollo de su actividad ha motivado una creciente preocupación por los aspectos relacionados la movilidad y la energía, y desde el año 2016 cuenta con un PLAN ESTRATÉGICO DE MOVILIDAD SOSTENIBLE, que promueve la movilidad activa (caminar, bicicleta y ejercicio físico integrado en entorno laboral), la reducción de la huella de carbono de la actividad y flota, los desplazamientos compartidos al trabajo, y el incremento de las videoconferencias.

### Sede Tragsatec, Madrid

Tragsatec, filial del Grupo Tragsa, tiene su sede la calle Julian Camarillo 6b de Madrid. Se trata de un edificio de oficinas, de altura SII+B+IV, arrendado, donde trabajan 1200 trabajadores. Está ubicado en un polígono empresarial a 7 km del centro, entre las vías de circunvalación M-30 y M-40, y bien comunicado mediante transporte público. Dispone de un aparcamiento vigilado de 60 bicicletas, y un garaje para 236 coches y 24 motos. El efecto isla de calor implica en esta zona un incremento de 4-5°C en verano (*Estudio de detalle del clima urbano de Madrid*). En estas oficinas la refrigeración representa aproximadamente un 30% del consumo eléctrico del edificio, y parte del mismo se destina a combatir ese aumento de la temperatura.

La calidad del aire es también deficiente en este entorno (*Informe de calidad del aire 2016 Ayto. Madrid*), con superaciones de los niveles marcados por la OMS y con niveles elevados de partículas en suspensión, que afectan tanto a los filtros de la climatización como a la calidad del aire interior, además del impacto en la salud de los trabajadores (en el periodo 2015-2016 se ha producido un incremento de bajas por enfermedad respiratoria). Para alcanzar la ventilación adecuada en cantidad y calidad, el funcionamiento de los ventiladores aumenta.

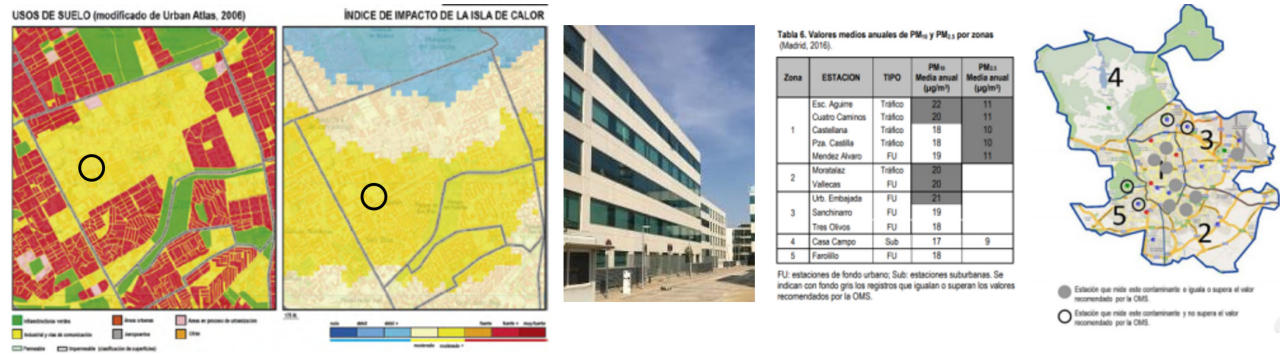


Figura 7. Isla de calor en zona. Estudio de detalle del clima urbano de Madrid del ayuntamiento de Madrid. (Izda.) Imagen exterior (centro). Partículas contaminantes en zona. Informe calidad del aire Madrid (dcha.).

En el garaje, y atendiendo a las previsiones (1/8 vehículos eléctrico en 2030), habrá próximamente 30 vehículos en recarga. Estimando que la mitad de las recargas se realicen en el edificio, conllevará un incremento en el consumo de 8448,6 Kwh/año (563.24 Kwh/año [4] x 30 vehículos x 50% de recargas).

Dentro de la oficina, los movimientos de personas se realizan mediante 4 ascensores (capacidad 10 pax. y potencia 11,5 KW) o por escaleras. El uso de estos ascensores es generalizado y se realizan trayectos a todas las plantas, con picos de uso durante las salidas y entradas al edificio (inicio jornada, almuerzo, comida, salida). Se estiman un total de 2000 trayectos/día (1 ascensor y 5 segundos), lo que implica un consumo estimado de 7986 Kwh/año. (2000 tray. x 11,5 kW x 5sg/3600sg h x 250 días laborables).



Finalmente, la actividad desarrollada en la oficina incluye también desplazamientos dentro y fuera de la ciudad, gestionados por una aplicación informática de viajes interna.

## Acciones de mejora emprendidas

Enmarcado en el Plan Estratégico de Movilidad Sostenible se están implantando medidas puntuales y permanentes encaminadas a incentivar la movilidad sostenible, mejorar la salud de los trabajadores y reducir el consumo del edificio. Destacan:

### En bicicleta al trabajo

Diversas campañas de concienciación consecutivas (SEM 2016 y 20017, 30díasenbici, noticias y avisos en intranet, y boletines de salud), y la instalación de aparcamientos para bicicletas vigilados, han conseguido incrementar progresivamente el número de trabajadores que acuden habitualmente a su puesto de trabajo en bicicleta (25 diarios de media en 2017, en Julian Camarillo).

### Movilidad activa y salud

La campaña “sube peldaños, baja años”, del servicio de prevención y salud, promueve el uso de las escaleras desde 2016. La utilización de los ascensores se ha reducido notablemente.



Figura 8. Campaña apoyo a bicicleta y “Sube peldaños, baja años” en la oficina de Tragsatec, Grupo Tragsa.

### Fomento del Transporte Público

Mediante la publicación y distribución a todos los empleados de un plano específico para la oficina, donde se recogen todas las opciones de transporte (paradas, tiempos caminando o en bicicleta, y trayectos hasta los principales intercambiadores) se anima a utilizar el transporte público. Se complementa con diversas campañas de comunicación.

### Movilidad compartida

En la intranet del Grupo Tragsa se ha incluido la aplicación para compartir coche: [grupotragsa.compartir.org](http://grupotragsa.compartir.org), que permite localizar personas (empleados y externas) para compartir el vehículo particular en los desplazamientos al trabajo. Además, desde 2017 se ha incluido como criterio para la asignación de plazas de garaje el vehículo compartido (varios trabajadores por vehículo).

### Gestión de los desplazamientos y videoconferencias

La oficina de Tragsatec dispone de tres salas de reuniones para la realización de videoconferencias. Su uso se ha incrementado progresivamente en los dos últimos años (2016-2017), y en la actualidad se realiza al menos una videoconferencia diaria. Por su parte, la aplicación de viajes incorpora los kilómetros de distancia solicitados y ofrece las distintas posibilidades de medio de transporte.



Figura 9. Plano de movilidad sostenible Tragsatec; Compartir coche; Boletín PRL movilidad compartida.

## RESULTADOS

Las campañas de movilidad sostenible, concienciación de movilidad activa y videoconferencias han aumentado el porcentaje de ocupación en la oficina, la salud de los trabajadores y la calidad ambiental del entorno, mejorando la eficiencia energética de las instalaciones. Como resultados destacan:

- Disminución de los desplazamientos individuales en coche privado.
- Disminución del uso de ascensores frente al incremento del uso de escaleras.
- Incremento creciente de los desplazamientos en bicicleta al trabajo (49 bicicletas el 21/09/2017).
- Incremento del número de plazas asignadas en garaje por vehículos compartidos (16 en 2017).
- Incremento de videoconferencias y reducción de viajes.
- Reducción de la tasa de sedentarismo (un 5% en el periodo 2015-2016).
- Consecución de distinciones: “Muévete verde 2014 y 2017 Ayto. Madrid”.

## CONCLUSIONES

El modo en el que nos desplazamos por la ciudad está relacionado con el consumo energético de los edificios. El efecto isla de calor, el consumo por recarga de vehículos eléctricos, las bajas por sedentarismo, la colmatación de los filtros de climatización por contaminantes, el uso de ascensores, y los desplazamientos por trabajo inciden directa o indirectamente en las necesidades energéticas, dificultando el objetivo de alcanzar edificios EECN. Todas las acciones encaminadas a la mejora de la movilidad urbana y los desplazamientos activos repercuten positivamente, a corto y medio plazo, en la consecución de edificios con un menor consumo energético.

## REFERENCIAS

- [1] Fuente: ecologistas en acción
- [2] Fuente: estudio de detalle del clima urbano de Madrid
- [3] Instrucción Técnica Complementaria: Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para recarga de vehículos eléctricos. BOE núm. 316, diciembre de 2014
- [4] Consumo medio de vehículo eléctrico considerado 18,8kWh/100 km. Distancia media anual recorrida por vehículo (214 días laborables, dos trayectos por día estimados de 7km = 2996 km/año). Consumo estimado anual de  $2996 / 100 * 18.8 = 563.24$  kWh/año.

## SECTOR RESIDENCIAL "LA ESTRELLA" DE BADALONA - EL URBANISMO DESDE LOS EDIFICIOS DE CONSUMO CERO

**Fernando Aranda Moreno**, Innovación y energía, Instituto Catalán del Suelo, Generalitat de Catalunya

**Resumen:** El Horizonte 2020 implica la incorporación de los edificios de consumo 0. El sector residencial por sus características resulta complicado para una correcta gestión energética que facilite el cumplimiento de esa exigencia. No cabe duda que la clave fundamental para facilitar este cumplimiento es la configuración total desde el planeamiento urbanístico. El ARE (Área Residencial Estratégica) "La Estrella" de Badalona, prevé ya desde el planeamiento asumir esas exigencias energéticas. Para poder cumplir ese reto, se ha previsto como prioridad máxima la gestión energética global, tanto térmica como eléctrica y como paradigma la cohesión entre el consumo y la producción energética, redactándose una ordenanza y un pliego de gestión global.

**Palabras clave:** Urbanismo, EECN, NZEB, Gestión Energética, DHC, Transición Energética, Ciclo de Vida

### INTRODUCCIÓN / ANTECEDENTES

El objetivo fundamental de la actuación es el de desarrollar un ámbito de suelo residencial y servicios que acabe de consolidar el barrio de Coll i Pujol en contacto con el eje viario de la C-31. La ordenación incluye las medidas para el fomento de la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental que permita alcanzar los objetivos del horizonte 2020 y el balance neto.

La Directiva 2010/31/UE sobre Eficiencia Energética de los Edificios, publicada el mes de junio de 2010 en el Diario Oficial de la Unión Europea y siguientes prevén como exigencia el balance neto en los edificios a partir de 2018/2020, fijando como elemento fundamental para conseguir la máxima eficiencia energética y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la implantación de la calefacción/refrigeración con redes de calor y frío. Conseguir el balance neto implica la producción con energías alternativas de las necesidades energéticas previstas en el sector y poder incorporar criterios fundamentales como la generación distribuida. Estos dos inputs implican la previsión inmediata de unas medidas a adoptar en las nuevas implantaciones.

Igualmente, los criterios para conseguir sectores más respetuosos con el medio ambiente, que favorezcan la reducción de consumos y la mejora de la gestión del ciclo del agua, de los residuos y del análisis del ciclo de vida, combinado con el fomento que permita la incorporación de las nuevas tecnologías de las comunicaciones, harán del Planeamiento de este sector un urbanismo que nos acerque a las necesidades y exigencias normativas y sociales fijadas para 2020.

### DESCRIPCIÓN SOLUCIÓN, PROYECTO, ETC.

Esas exigencias de transición energética se trasladan directamente a los promotores de los edificios y con una fecha muy próxima como es el 1 de enero de 2019, es decir poco más de un año. ¿Estamos los promotores preparados para ese reto?, sin duda la respuesta a día de hoy es no. Ya se sabe que cualquier cambio en el status quo de una actividad siempre es recibido con reservas. Sólo los "militantes" se adelantan a esas exigencias, que no dejan de ser mejoras en el producto final promovido.

Por ello, en INCASOL, como promotor bicéfalo -suelo y vivienda pública- se plantea el objetivo de determinar cómo nos gustaría que fuera el ámbito urbano que incluya esas edificaciones que tienen que cumplir los requisitos de energía casi nula. ¿Cómo se puede ayudar a un promotor de viviendas a alcanzar el objetivo EECN y si puede ser con el mínimo coste posible?

Para nosotros la respuesta fue sencilla, dada esa doble personalidad recurrimos al potencial legislativo que tiene el urbanismo, la planificación urbanística como instrumento canalizador de soluciones técnicas para conseguir los EECN.

Demasiadas veces el urbanismo acaba siendo un elemento que limita, en nuestro caso y dadas las dificultades que nos acechan debe ser todo lo contrario. La normativa urbanística y sus derivadas serán la ayuda perfecta para fomentar y simplificar las acciones técnicas que deriven en el consumo nulo.

No cabe duda que los nuevos planeamientos urbanísticos tienen la suficiente autoridad legal para poder provocar cambios en el horizonte energético y favorecer el desarrollo de la transición energética que se pretende emprender

en este momento. Mediante el urbanismo ordenaremos no solo volumetrías, alineaciones, densidades o sistemas, también fijaremos voluntades y por qué no decirlo, exigencias, para fomentar, facilitar o desarrollar los parámetros energéticos que nos lleven a la normalización de los edificios de consumo casi cero.

Así, aparece el Planeamiento urbanístico del Área Residencial Estratégica de la Estrella en el municipio de Badalona. Este sector fundamentalmente residencial, tiene unas dimensiones suficientemente reducidas para poder hacer un planteamiento innovado y que a la vez nos sirva de laboratorio para poder establecer los criterios reales que nos permitan promover los edificios de energía casi nula con garantías y de una forma normalizada.



*Figura 1. Vista general ámbito La Estrella.*



*Figura 2. Emplazamiento urbanístico.*

El sector tiene algo más de 320 viviendas, mayoritariamente protegidas, así como algunos equipamientos de tipo dotacional o escolar. No cabe duda que este modelo es el idóneo para poder marcar los cimientos de la sistemática para implantar EECN.

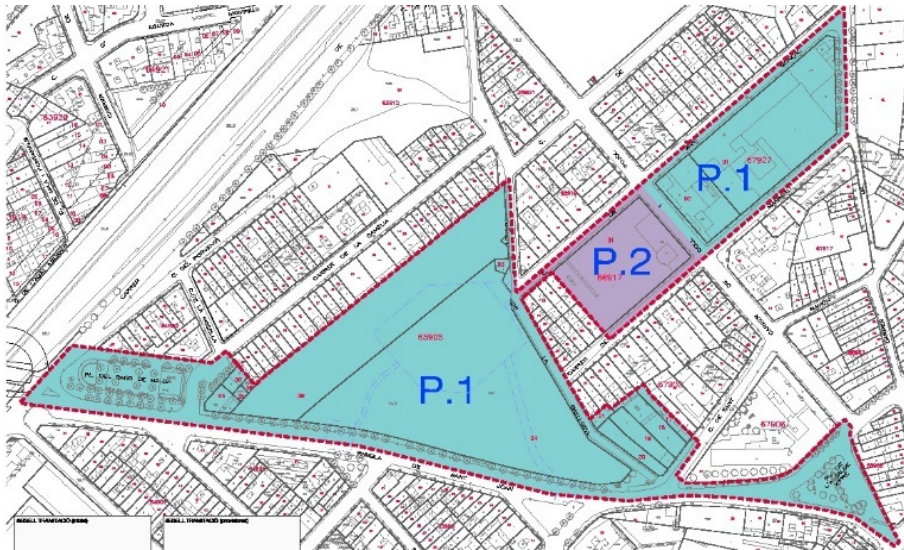


Figura 3. Plano de gestión del ámbito.

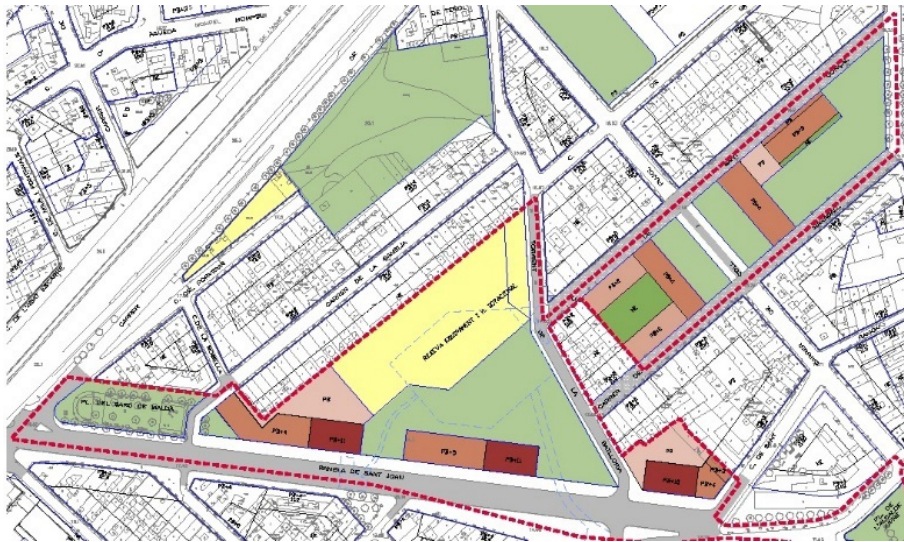


Figura 4. Plano de ordenación.

En vista de todos esos condicionantes la “herramienta” del planeamiento urbanístico para conseguir facilitar y por tanto fomentar la construcción de edificios de energía casi nula, debe incluir una serie de, llamémosle, exigencias, pero que en realidad son elementos de anclaje muy potentes para que el promotor de edificios pueda lograr su objetivo con las mayores facilidades posibles y si puede ser con un mínimo coste final.

Bien es sabido que el planeamiento urbanístico incorpora múltiples conceptos, no sólo energéticos, sin embargo, centraremos esta comunicación en temas energéticos, si bien y como recordatorio se enumerará algún que otro aspecto que pueda influir de forma algo más indirecta en la obtención de los edificios de consumo cero desde el planeamiento.

Los criterios que se aplican con fines energéticos y ambientales son:

- Urbanismo y construcción. Incorporación de medidas, criterios y políticas para incidir en la eficiencia energética y la sostenibilidad en edificios, la planificación y la ordenación urbanística con criterios de desarrollo sostenible tanto técnicos como sociales.
- Energía y medio ambiente. Incorporación de la producción de energías limpias, producción local de energía, aplicación de medidas de gestión ambiental, reducción de consumo de recursos naturales y mejora de las redes de distribución. Control y reutilización de las aguas freáticas, uso de vegetación adecuada, materiales y elementos reciclados. Balance de residuos negativo.

Las prescripciones a introducir en el planeamiento urbanístico que nos servirán de herramientas a la hora de proyectar, construir y utilizar un edificio de consumo energético casi nulo se agrupan en 2 ámbitos, las acciones que denominaríamos pasivas y las activas.

Las primeras son aquellas que vienen de “serie” en nuestros edificios y que fundamentalmente se mantendrán a lo largo de la vida del edificio sin grandes cambios o en todo caso con alguna mejora o actualización que comúnmente podríamos considerar una rehabilitación. Este tipo de acciones o consideraciones son aplicadas de forma algo más común en planeamientos urbanísticos. Se podrían asimilar más a conceptos arquitectónicos si bien también tienen dependencia de algún criterio tecnológico. Tienen por tanto una influencia fundamental, dada su mayor estabilidad en el tiempo, en nuestro objetivo.

Las acciones activas, son más evolutivas en el tiempo. Seguramente depende mucho más de las tecnologías existentes en el mercado que del sistema previsto. Por contra dan la optimización del resultado final. El mantenimiento está mucho más asumido que el propio de la edificación en general, ya sea por un tema normativo o por un simple tema preventivo o correctivo del equipo o la instalación de referencia.

El primer grupo, el de acciones pasivas, incluye básicamente el control de la demanda energética, las orientaciones edificatorias, ventilaciones óptimamente correctas con criterios sostenibles, limitación de los consumos y la previsión de espacios para necesidades específicas energéticas.

En cuanto el segundo grupo, las acciones activas, consisten en el fomento de energías renovables, la producción energética cara al autoconsumo y la generación distribuida y sobretodo la gestión energética que permita la optimización de consumos y por tanto de potencias.

## METODOLOGÍA

El planeamiento urbanístico, fundamentalmente el derivado, recoge en su articulado todos aquellos principios que favorecerán, simplificarán, facilitarán o simplemente acompañarán a la redacción de proyectos de edificios de consumo casi nulo. Así al articulado del planeamiento se incorporan los requisitos siguientes:

Requerimientos pasivos:

- *Art. Limitaciones de la demanda energética de las viviendas*. Todas las edificaciones construidas en este sector urbanístico, deberán acreditar una calificación energética A según las prescripciones del CTE o en su caso de la normativa de obligado cumplimiento del momento, considerando A como la calificación más exigente. Esta condición se complementa con que pasivamente, es decir sin considerar instalaciones eficientes superiores a las exigencias del CTE, los edificios deben ser siempre al menos de calificación B, o de la inmediata inferior a la máxima posible.
- *Art. Orientaciones (Asoleo)*: Las viviendas dispondrán como mínimo 1 hora de sol en la sala el día 22 de diciembre en la franja horaria de las 10 a las 14 horas (horario solar) y un máximo de radiación de 4 horas el día 21 de junio entre la 10 y las 18 horas, en que las oberturas afectadas deberán disponer de protecciones fijas o móviles. Para ello el planeamiento facilita al máximo la implantación de los edificios de forma que el cumplimiento sea sencillo.
- *Art. Usos de la cubierta y sombras entre edificios*: Los usos de cubierta preverá servidumbres o concesiones con la finalidad de poder implantar sistemas de producción eléctrica. Ningún edificio puede limitar la capacidad de otro de disponer en la cubierta de la superficie suficiente para instalar los equipos de producción necesarios. Existe una servidumbre para poder compartir energías renovables producidas en un edificio y distribuidas u otros (generación distribuida y/o autoconsumo compartido) siempre que un gestor energético sea responsable.

- Art. Energía geotérmica en espacios públicos y zonas verdes: Se incorpora la posibilidad de realizar instalaciones geotérmicas para generar poder energético y siempre que está gestionada.
- Art. Fomento de la ventilación natural. Potenciación de la ventilación transversal de las viviendas. Las profundidades de las edificaciones están planificadas para poder disponer de esa ventilación natural asegurada. También se fomentan sistemas con espacios verticales de ventilación que garanticen la calidad interior del aire.
- Art. Tendaderos. Recuperar los espacios para tender la ropa con el fin de limitar al máximo el uso de secadoras.
- Art. Previsión nuevos espacios para necesidades energéticas. Ya en el planeamiento se prevén nuevos espacios o servidumbres como reserva tanto en edificios como en espacios públicos para la incorporación de nuevas instalaciones productoras o de gestión de energías.
- Art. Carga coche eléctrico. La totalidad de las plazas de aparcamiento sean públicas o privadas de nueva creación deberán disponer de la preinstalación necesaria para poder incorporar con el menos coste posible un punto de carga en el momento que se requiera.

Requerimientos activos:

- Art. Energías renovables. Incorporación imprescindible de sistemas, instalaciones o equipos de producción energética con fuentes renovables que garanticen el balance neto del sector urbanístico objeto del planeamiento. Cada una de las unidades edificatorias debe acreditar también el cumplimiento de ese 0 energético.
- Art. Gestión energética. Gestor energético como garantía para el cumplimiento del balance neto. Esta gestión incluye tanto la PRODUCCIÓN como la DISTRIBUCIÓN y la COMERCIALIZACIÓN. El gestor puede ser individual de cada una de las edificaciones, pero se propone como la mejor opción la gestión energética la global del sector, por lo que el promotor urbanístico aportará la propuesta para que sea posible. La gestión será tanto eléctrica como térmica.
- Art. Reducciones de las potencias a contratar. Adecuación de las potencias a los criterios de eficiencia y tecnologías actuales. Ajustar el grado de electrificación de las viviendas a la realidad del Horizonte 2020 y los edificios EECN. Por ello se computará ya a nivel de sector unas potencias razonables considerando las nuevas aportaciones, la eficiencia de los equipos actuales y los sistemas de climatización previstos en el sector.
- Art. Generación distribuida. El proyecto de urbanización incorporará las instalaciones necesarias para poder garantizar plenamente la distribución de las energías generadas en el ámbito urbanístico que nos afecta.
- Art. Redes de calor. Es imprescindible que todo planeamiento, igual que incluye un informe ambiental o uno de viabilidad, incluya un estudio de viabilidad de una red de distrito de frío y calor del ámbito que planifica. Caso que finalmente se ejecutara, estaría gestionada por el gestor energético global del sector.

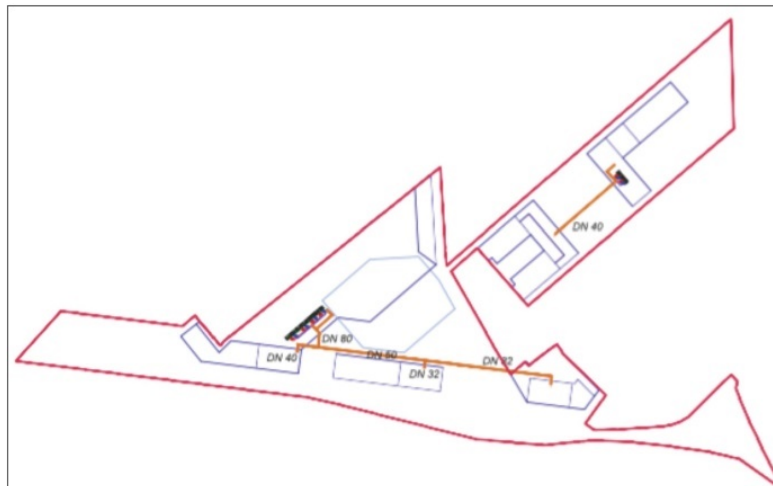


Figura 5. Propuesta DHC geotermia (Arkenova).

- Art. Certificado garantía origen renovable. La energía eléctrica total consumida en el sector deberá ser renovable, por tanto la que no esté autoproducida debe disponer del correspondiente Certificado de Garantía de Origen Renovable.

Otros artículos relacionados con la sostenibilidad y medioambientales

- Art. Ruido: La arquitectura y la urbanización deberán incorporar soluciones arquitectónicas que reduzcan el impacto acústico
- Art. ciclo del agua: La arquitectura y la urbanización deberán incorporar medidas para facilitar la infiltración, captación de aguas pluviales, reutilización de aguas grises y ahorro de agua.
- Art. Materiales y residuos: Se incorporarán a los proyectos criterios de uso de materiales reciclados en obras de edificación y de gestión de residuos de la construcción.
- Art. espacios libres y jardinería: Se utilizará vegetación adecuada para garantizar el uso racional del agua y la buena adaptación y arraigo de las especies tanto en zona públicas como en las comunitarias de uso privativo
- Art. Telecomunicaciones: El sector preverá las preinstalaciones necesarias para las futuras implantaciones de zonas Wifi.

Uno de los grandes problemas de las modificaciones de los planeamientos urbanísticos, es la complejidad del procedimiento de esa modificación. Los plazos son largos y esas modificaciones, a veces pequeñas, se complican de forma importante. Por eso paralelamente se redacta una ordenanza en la que se fijan escrupulosamente los valores técnicos exigibles de forma concreta y concisa. En el planeamiento del ARE La Estrella, se ha redactado una Ordenanza de sostenibilidad y eficiencia energética, aplicable a ese sector. El procedimiento de aprobación es plenamente municipal, con lo que el interés corresponde realmente a los afectados.

## RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

Con la aplicación de estos criterios y exigencias, se conseguirían unas reducciones de consumo eléctrico del orden de un 48%, sin tener en cuenta la autoproducción, por tanto con menos de un 25% del consumo actual del sector generado con renovables en el propio ámbito de la actuación, conseguiríamos compensar la totalidad de la energía eléctrica que se consumiría en el ARE de La Estrella, sin tener en cuenta que gran parte de la energía eléctrica utilizada a efectos de climatización, la estaríamos compensando con sistema renovables o altamente eficientes.

En lo referente a la demanda térmica, comparándola con las actuales exigencias del CTE en vigor, la reducción llegaría a un 85% respecto a un edificio "normal", simplemente con la aplicación de los criterios pasivos (fundamentalmente) y las mejoras compensatorias de los criterios de origen activo.

## CONCLUSIONES

No cabe duda que la aparente complejidad de conseguir un Edificio de Energía Casi Nula, se puede atenuar si desde el planeamiento urbanístico se prevé ese requerimiento, pero podríamos llegar más lejos advirtiendo que de forma normalizada (no contamos con pruebas piloto), no se podrán obtener los resultados necesarios de EECN si no se incorporan ya en el urbanismo esos criterios.

Esos criterios no pueden ser simplemente recomendaciones o recordatorios de las normativas de referencia, sino que tienen que ser activos y pensados para poder ayudar a llevar a buen fin el objetivo de energía casi nula. No cabe duda que el camino no será fácil y que hay muchos intereses cruzados, pero para tener éxito los promotores de viviendas deberemos utilizar todas las herramientas que tengamos al alcance y sin duda una de las más potentes es la Planificación Urbanística. Una normativa urbanística bien fundamentada en materia de EECN simplificará en gran medida los esfuerzos individuales de cada edificio, haciendo posible el objetivo de los Edificios de Energía Casi Nula.



## ENTREPATIOS LAS CAROLINAS: EL PRIMER COHOUSING ECOLÓGICO DE MADRID

**Iñaki Alonso**, Arquitecto CEO, sAtt Arquitectura Abierta  
**Elena Castillo**, Arquitecta Directora de proyectos, sAtt Arquitectura Abierta  
**Ana González**, Arquitecta Gerente, sAtt Arquitectura Abierta  
**Marta Torralba**, Arquitecta, sAtt Arquitectura Abierta  
**Paloma Suárez**, Arquitecta, sAtt Arquitectura Abierta  
**Paloma Lara**, Arquitecta, sAtt Arquitectura Abierta  
**Fernando Campos**, Arquitecto, sAtt Arquitectura Abierta  
**Pablo Rodríguez**, Arquitecto técnico CEO, Técnica ECO  
**Daniel Pascual**, Consultoría energética CEO, danielpascual consultoría instalaciones  
**Pascual Pérez**, Arquitecto, Civic Wise

**Resumen:** Las Carolinas es el primer Edificio en Régimen de Derecho de Uso cuyos estatutos han sido aprobados por la Comunidad de Madrid. Un edificio de 17 viviendas donde cobra especial importancia la comunidad. Combina espacios privados con grandes espacios comunes. Sus habitantes deciden a través de una metodología participativa cómo y en qué espacios quieren vivir, dónde y cuánto pueden pagar. No hay promotores externos, el propio grupo se constituye en cooperativa que se mantendrá a lo largo de la vida útil del edificio, no existe división horizontal. El proyecto se desarrolla con los últimos avances en arquitectura ecológica bajo criterios de alta eficiencia energética, análisis de ciclo de vida, bioconstrucción, gestión del agua, análisis geoambiental y diseño bioclimático. Entrepatios es un edificio de energía casi nula que es sostenible económica, social y medioambientalmente.

**Palabras clave:** Vivienda, Cohousing, Derecho de Uso, Ecología, Passivhaus, ACV, Bioconstrucción

### INTRODUCCIÓN

El edificio de Entrepatios Las Carolinas nace con vocación de ser pionero, y de generar herramientas que sirvan a particulares y técnicos para replicar un modelo de promoción en derecho de uso en términos de excelencia medioambiental y social.

Se plantea como un proyecto de prototipado e innovación de código abierto.

### DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

#### ¿Cómo nace el proyecto?

Entrepatios es la primera cooperativa de viviendas bajo la modalidad de derecho de uso cuyos estatutos han sido aprobados por la Comunidad de Madrid. Formada por un grupo de personas con un objetivo común: vivir bajo un modelo de convivencia más coherente con sus valores e inquietudes personales, sociales y medioambientales. Para ello, se recupera el modelo de comunidad más cercano y entrelazado con los últimos avances en arquitectura ecológica y se desarrolla desde los principios de la economía social.

El derecho de uso es un modelo de propiedad intermedio entre alquiler y compra que aboga por la gestión del común. Las personas habitantes del edificio no poseen propiedad de su vivienda, sino que cuentan con un derecho de uso sobre ella y sobre los espacios comunes del edificio a lo largo de su vida.

El espíritu de Entrepatios es constituirse como una red de cooperativas de vivienda en derecho de uso en Madrid, siendo Las Carolinas la primera de las promociones y a la que ya sigue el grupo de Vallecas, actualmente en busca de un solar.

Entrepatios se define en torno a 5 objetivos:

- Desarrollar un modelo de vivienda como activo de uso y no como activo de consumo financiero.
- Generar un espacio de convivencia en comunidad con perspectiva de acción social, tanto interna (entre los integrantes de la propia comunidad) como externa (de la comunidad hacia el barrio y el contexto urbano y social cercano).

- Generar un modelo de uso cuyo coste no supere los 10euros /m2 para cada unidad de vivienda.
- Que se financie con banca ética
- Que esté proyectado y construido con criterios ecológicos

## ¿Cómo es el proceso?

El edificio de Entrepatrios Las Carolinas ha sido diseñado mediante un proceso de participación en el que técnicos y gestores hemos acompañado a los futuros habitantes en el diseño de cómo quieren vivir.

El proyecto básico, el de ejecución y la licitación se ha desarrollado mediante una metodología de 13 talleres diseñados específicamente para el caso.

## ¿Cómo es el edificio?

El edificio de Entrepatrios Las Carolinas cuenta con un solar en la calle González Feito 19 en el distrito de Usera de Madrid, financiado con fondos propios de la cooperativa, así como la parte técnica que sirvió para arrancar el proyecto.

En cuanto a sostenibilidad medioambiental el proyecto se basa en los siguientes aspectos para alcanzar en el máximo grado posible el concepto de Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo según marca la Directiva Europea 2010/31/UE, además de otras estrategias avanzadas en cuanto a arquitectura ecológica:

- Diseño bioclimático
- Alta eficiencia energética
- Análisis de ciclo de vida
- Bioconstrucción
- Gestión del agua
- Salud geoambiental

### ***Diseño bioclimático***

El edificio de Entrepatrios Las Carolinas aprovecha al máximo las estrategias de la arquitectura bioclimática. Uno de las premisas a la hora de elegir una solar adecuado para el edificio fue la orientación. Así, el solar finalmente elegido en el distrito de Usera (c/ González Feito 19), es un solar en forma alargada de 46x17m, cuyo eje más largo presenta una dirección este-oeste. Sus lados sur y este dan a dos calles de acceso mientras que el norte y oeste suponen límites medianeros. Además, en la parcela de enfrente de dicha calle al sur hay un gran aparcamiento de un centro comercial.

De esta manera se partía de unas condiciones muy favorables ya que podíamos tener la fachada principal del edificio orientada al sur y sin apenas obstrucciones solares.

En dicho solar se configuró el edificio en sentido longitudinal de la parcela y adosado al lindero sur mientras que al norte se deja un área longitudinal sin edificar que conforma un patio común. Los accesos a las viviendas se realizan a través de galerías, a modo de corralas, en la fachada sur. A dichas corralas de la fachada sur vuelcan las estancias de estar y las cocinas (estancias de día) con grandes huecos acristalados y con persianas alicantinas como dispositivos de protección solar, mientras que al patio norte dan los dormitorios (estancias de noche).

Todo ello desemboca en viviendas de doble orientación que maximizan la captación solar durante el invierno, se protegen de la radiación excesiva en verano mediante la protección solar fija (aleros y corralas) y móvil (persianas alicantinas) y favorecen la ventilación cruzada por ejemplo para ayudar en la refrigeración nocturna en el verano.

### ***Alta eficiencia energética***

El edificio apuesta por la alta eficiencia energética, así como el alto grado de confort que esta conlleva. Se ha trabajado de forma minuciosa para reducir al máximo la demanda de energía, se ha optado por sistemas muy eficientes que minimizan el consumo y se cuenta con el aporte de energía de fuentes renovables. En este sentido, se han adoptado y aplicado los rigurosos requisitos del estándar Passivhaus en el diseño del edificio.

El comportamiento energético del edificio se ha analizado desde los inicios con la ayuda de una doble simulación. Por un lado se ha realizado una simulación dinámica con el programa Design Builder y, de manera paralela, se ha trabajado con el programa PHPP y su plugin DesignPH para Sketchup como metodología de simulación propuesta por el estándar Passivhaus.

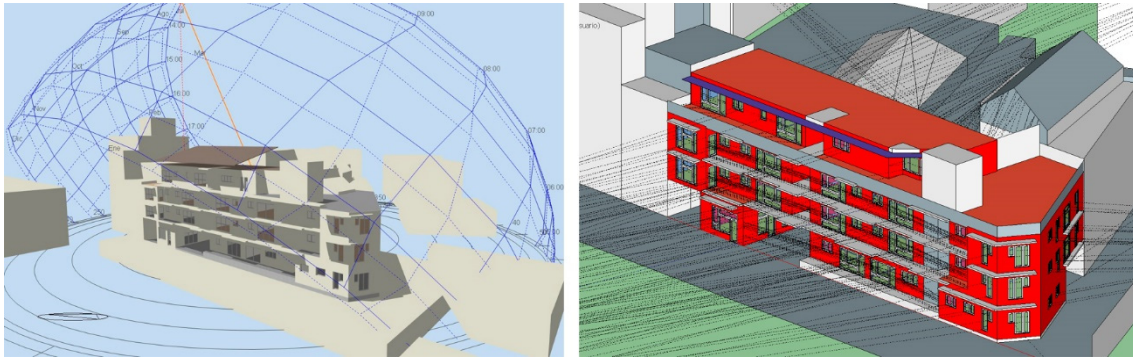


Figura 1. Simulación energética. Design Builder (izquierda) y DesignPH-PHPP (derecha).

Las distintas medidas adoptadas en el edificio en cuanto a reducción de demanda de energía, consumo de energía primaria y aporte de fuentes renovables son:

- Elevado grado de aislamiento: Se ha aislado térmicamente el edificio siempre por el exterior con sistema SATE en fachadas de 100mm de lana de roca sobre panel de CLT -madera contralaminada- más 40 mm de manta de celulosa en trasdosado interior en fachadas; cubierta semi-directa semi-invertida con 80 mm de lana de roca y 60 mm de XPS por el exterior del CLT y forjados de planta baja en separación con el garaje del sótano también con 100mm de lana de roca por el exterior y otros 30mm al interior por motivos de acústica). Con ello tenemos transmitancias térmicas en fachadas de  $U=0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ , cubiertas con  $U=0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$  y suelos con  $U=0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Diseño constructivo que minimiza los puentes térmicos: en toda la envolvente se ha hecho un diseño constructivo asegurando la continuidad de la capa de aislamiento térmico para evitar o minimizar la repercusión energética de los puentes térmicos (calculados con el programa THERM). En este sentido, la estructura de muros y forjados de paneles de CLT de madera contralaminada ha facilitado mucho esta labor.
- Carpinterías de madera-aluminio de  $U_f=1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , vidrios triples con una transmitancia térmica media de  $U_g=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar  $g=0.5$  e intercalarios cálidos produciendo transmitancias térmicas lineales en el borde del vidrio de  $\Psi_g=0.033 \text{ W/mK}$  y por último, una instalación de la ventana en fachada que minimiza el puente térmico debido a su instalación con una  $\Psi_f=0.014 \text{ W/mK}$
- Dispositivos de protección solar móvil: persianas alicantinas enrollables y manipuladas manualmente.
- Elevada hermeticidad al paso del aire: se ha previsto el sellado hermético de todos los encuentros y uniones de distintos materiales y/o elementos constructivos así como de cualquier perforación de la envolvente hermética del edificio como los pasos de las diferentes instalaciones.
- Uso de sistemas de ventilación mecánica controlada de doble flujo con recuperación de calor (instalación individual por vivienda/local con eficiencias efectivas en la recuperación del 80%.
- Sistemas individuales de climatización (calefacción-refrigeración) por aire basados en bombas de calor aire-aire de alta eficiencia energética (A/A+) con potencias en torno a los 4kW por vivienda y coeficientes de rendimiento en calefacción y refrigeración de SCOP=4 y SEER=5.5 respectivamente.
- Sistema centralizado de ACS de alta eficiencia (A++) por bomba de calor aire-agua (aeroterminia) con una potencia de 25 kW y una eficiencia estacional para ACS en energía primaria del 115%.
- Instalación fotovoltaica de 13.5 kWp en modalidad de autoconsumo y con sistema de control para enviar electricidad generada a la bomba de calor del ACS en los momentos de máxima generación y así maximizar el aprovechamiento de electricidad generada. Se deja previsión para posible ampliación futura de la instalación.

De todo ello, hemos llegado a un comportamiento del edificio con valores muy bajos en demanda de energía para calefacción (11 kWh/m<sup>2</sup>año), refrigeración (15 kWh/m<sup>2</sup>año) y ACS (24 kWh/m<sup>2</sup>año).

Estos resultados eran de esperar en un edificio con un elevado aislamiento en el clima de Madrid: el gran problema a resolver en cuanto a climatización se refiere es la refrigeración.

**Análisis de ciclo de vida**

De cara a reducir el enorme impacto ambiental que la construcción y uso de cualquier edificio implica se ha evaluado el proceso en relación a siete categorías de impacto sobre el medio ambiente (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, acidificación del terreno, eutrofización, contaminantes fotoquímicos, agotamiento de recursos abióticos y consumo total de energía). Para ello se ha utilizado la herramienta ECOMETRO, basada en las normas UNE-EN 15804 (producto) y UNE-EN 15978 (edificio). Esta herramienta valora el impacto del edificio durante toda la vida del mismo: extracción y fabricación de los materiales, transporte a obra, colocación, mantenimiento y uso (calefacción, refrigeración, iluminación y consumo de los electrodomésticos).

Uno de los capítulos más relevantes en este aspecto, debido a la masa que supone en relación al resto de componentes y elementos constructivos, es la estructura del edificio. En Entrepatrios Las Carolinas se ha optado por una estructura de hormigón armado en el sótano y forjado de planta baja para completar el resto de alturas íntegramente con muros y forjados de panel de CLT (madera contralaminada). El uso de la madera ha supuesto una reducción de peso del edificio notable y además ha permitido evitar el uso de pilotes para cimentar en un terreno pobre como el existente. Todo ello ha supuesto una reducción del 39% del impacto del edificio sobre el cambio climático.

**Bioconstrucción**

Además del ahorro de energía y el bajo impacto medioambiental se ha buscado en todo momento un edificio sano. El interior se resuelve con materiales no tóxicos que aporten una nula o mínima emisión de compuestos orgánicos volátiles. De esta manera, el propio panel de CLT cuando va visto, o los trasdosados del edificio compuestos por placas de yeso laminado y aislamiento de celulosa, suponen materiales que responden a tal fin.

Es importante mencionar también en este punto que, gracias a los sistemas de ventilación mecánica controlada de doble flujo, la calidad del aire interior en las viviendas será óptima, con una tasa de CO<sub>2</sub> siempre dentro de los límites saludables (en torno a los 1000 ppm), filtrado de partículas contaminantes debido al sistema de filtros y ausencia de malos olores.

**Gestión del agua**

El edificio propone un sistema de gestión del agua que, además de utilizar griferías y sanitarios de bajo consumo de agua con cisternas de doble descarga, aireadores, etc., se centra en el reciclaje de las aguas pluviales y de las aguas grises para su posterior uso en el sistema de riego en el jardín del patio, corralas y cubierta, así como en los inodoros. Se prevé que con dicho sistema se produzca un ahorro de agua de 750.000 l/año.

Cabe decir en este punto que con la actual Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid, sólo está permitido el aprovechamiento de aguas grises para riego, no así para inodoros, aunque se prevé en el futuro el cambio de dicha ordenanza. El edificio cuenta con un doble trazado de instalaciones de fontanería y saneamiento en el caso de las aguas grises a modo de preinstalación para que, cuando se produzca dicho cambio en la ordenanza, sólo haya que poner en marcha el trazado de reutilización de aguas grises en inodoros. De esta manera, el edificio va por delante que la propia normativa en cuanto a gestión del agua se refiere.

**Salud geoambiental**

Se ha realizado un análisis y estudio de salud geoambiental tanto de la parcela como del entorno inmediato contemplando distintos aspectos en relación a los campos energéticos (eléctricos, magnéticos, radiación de tipos diversos, etc.) para organizar el edificio de una manera saludable para sus ocupantes. Así, se evitan puntos críticos en los lugares de estancias prolongadas o de descanso y se utilizan sistemas de apantallamiento en los casos en los que sea necesario.

**CONCLUSIONES**

Entrepatrios Las Carolinas es un edificio de viviendas planteado en términos de innovación social, económica y medioambiental que persigue la excelencia en cada uno de estos campos. La experiencia demuestra que los edificios de consumo de energía casi nulo son posibles y asequibles si las personas implicadas comparten la voluntad firme de no renunciar a su objetivo.

En Entrepatrios Las Carolinas se amplía el objetivo de logro de un edificio de consumo de energía casi nulo en pos de una arquitectura comprometida con la mitigación del cambio climático. En un edificio con un elevado grado de

aislamiento en un clima como es el de Madrid, el problema más difícil de resolver en cuanto a climatización es la refrigeración.

En un edificio de consumo de energía casi nulo como es el de Entrepatrios Las Carolinas en el que se reducen tanto los consumos durante su vida útil, el peso específico de los materiales y elementos constructivos en función de su masa pasa a ser de gran peso específico en la reducción de impactos del análisis de ciclo de vida. Debido a que la estructura es de madera, se ha conseguido una cuantificación de impactos cuyos valores son excepcionales, por un lado porque supone una reducción de masa considerable frente a una de hormigón o acero, y por otro porque en valor relativo, la estructura acapara la parte sustancial del peso de un edificio.

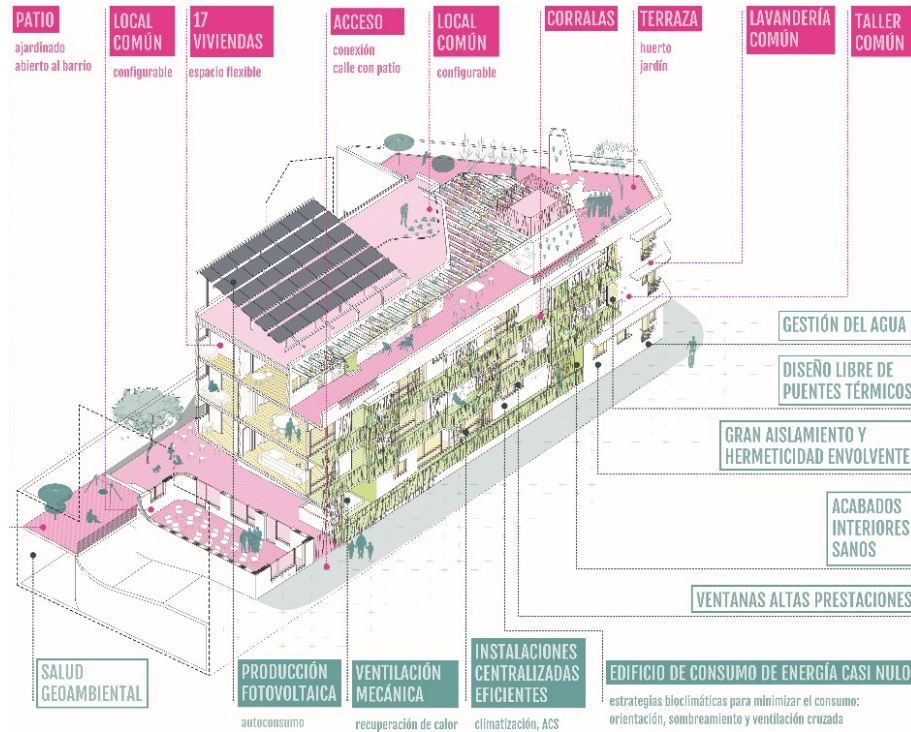


Figura 2. Axonometría. Estrategias medioambientales.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto sólo está siendo posible gracias a la colaboración, implicación, experiencia y entusiasmo de las personas que lo estamos desarrollando.

Entrepatrios como promotores, Lógica Eco como gestores, sAtt como estudio de arquitectura, Técnica Eco como aparejadores, Daniel Pascual como experto en instalaciones eficientes, Miguel Nevado como experto en edificios de madera, Ismael Caballero como experto en la gestión de agua, Fernando Pérez como experto en salud geoambiental y Pascual Pérez como investigador experto en las implicaciones de este proyecto a nivel urbano.

## REFERENCIAS

- Feist, W., 2015, PHPP Programa de Planificación Passivhaus (v. 9), Passive House Institute, Darmstadt.
- <http://satt.es/arquitectura-abiertaarquitectura-participativa-para-un-cohousing/>
- <http://satt.es/tecnologias-de-la-participacion-para-un-cohousing-2/>
- <https://entrepatrios.org>

## REHABILITACIÓN DE BARRIOS BAJO CRITERIOS NZEB, APRENDIENDO LECCIONES DEL PROYECTO EUROPEO EU-GUGLE

**Inés Díaz Regodón**, WP leader, Centro Nacional Energías Renovables CENER  
**Florencio Manteca González**, Coord. proyecto EU-GUGLE, Centro Nacional Energías Renovables CENER  
**Javier Llorente Yoldi**, WP leader, Centro Nacional Energías Renovables CENER  
**Francisco Serna Lumbreras**, Centro Nacional Energías Renovables CENER  
**Marta Sampedro Bores**, Centro Nacional Energías Renovables CENER

**Resumen:** EL proyecto europeo EU-GUGLE "European cities serving as Green Urban Gate towards Leadership in sustainable Energy" tiene como objetivo evaluar la viabilidad de las prácticas de rehabilitación energética y desarrollar estrategias y modelos que puedan ser aplicados a gran escala en toda Europa a partir del año 2020. Para ello se están llevando a cabo rehabilitaciones energéticas en diferentes barrios de Aquisgrán (Alemania), Milán (Italia), Tampere (Finlandia), Viena (Austria), Sestao (España) y Bratislava (Eslovaquia), 226.000 m<sup>2</sup> en total, con unos objetivos de ahorro de energía primaria del 40-80% y un incremento de un 25% del consumo de energía de origen renovable. El proyecto se encuentra en su segunda fase de ejecución. Este artículo destaca algunos de los logros que se están consiguiendo en este proyecto. <http://eu-gugle.eu>

**Palabras clave:** Rehabilitación Energética, Renovación de Barrios, Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo

### INTRODUCCIÓN

La renovación de barrios basada en criterios de ahorro energético juega un papel crucial para alcanzar los objetivos energéticos y medioambientales que se ha marcado España y la Unión Europea. Por ello es necesario explorar tanto las estrategias que faciliten la transformación de los edificios hacia edificios más ahorradores o de consumo de energía casi nulo como el esfuerzo económico que ello supone.

EL proyecto europeo EU-GUGLE "EUropean cities serving as Green Urban Gate towards Leadership in sustainable Energy", de 6 años de duración (2013-2019) y un presupuesto de unos € 26,5 millones, tiene como objetivo evaluar la viabilidad de las prácticas de rehabilitación energética y desarrollar estrategias y modelos que puedan ser aplicados a gran escala en toda Europa a partir del año 2020. Para ello se están llevando a cabo rehabilitaciones energéticas en diferentes barrios de Aquisgrán (Alemania), Milán (Italia), Tampere (Finlandia), Viena (Austria), Sestao (España) y Bratislava (Eslovaquia), 226.000 m<sup>2</sup> en total, con unos objetivos de ahorro de energía primaria del 40-80% y un incremento de un 25% de energías renovables. A este consorcio inicial se unen tres ciudades asociadas interesadas en replicar las experiencias testeadas en los pilotos: Gotemburgo (Suecia), Gaziantep (Turquía) Plovdiv (Bulgaria).

El presente proyecto está siendo cofinanciado por la Unión Europea mediante el Séptimo Programa Marco (Grant Agreement Nº: 314632). <http://eu-gugle.eu>

### CIUDADES PARTICIPANTES. PROYECTOS PILOTOS

Todas las ciudades participantes disponen de un Plan de Acción de Energía Sostenible. Las acciones contempladas dentro del proyecto EU-GUGLE se alinean con la visión y objetivos contemplados en estas hojas de ruta, con el propósito de resaltar el impacto positivo de las renovaciones a gran escala y con la intención de reproducir sus resultados en otros distritos o barrios de las ciudades o en otras ciudades.

Los edificios objeto de investigación de EU-GUGLE son en su mayoría bloques de viviendas construidos entre 1950 y 1980, y en todos ellos se demostrarán los beneficios energéticos y sociales mediante la rehabilitación teniendo en cuenta el ratio coste-eficiencia.

#### Aquisgrán (Alemania)

El distrito Norte de **Aquisgrán (Alemania)** es una mezcla heterogénea de edificios nuevos y antiguos de uso industrial, público y residencial. Los edificios seleccionados en el proyecto EU-GUGLE son bloques de viviendas de los años 20', 30' y de los años 70'. En concreto, 391 viviendas sociales (más de 41.000 m<sup>2</sup> en total) con una ocupación de 1.500 personas, que representan el 10% de la población del distrito Norte. Este barrio forma parte de un programa de desarrollo plurianual llamado *Soziale Stadt Aachen-Nord* donde se mejora la envolvente térmica de los edificios, se

renuevan las instalaciones térmicas y se revitaliza toda la infraestructura energética. Los edificios piloto son propiedad del Ayuntamiento de Aquisgrán (75%) y GEWOG, la empresa de vivienda pública (25%).

### **Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO2**

En general, todos los edificios estaban escasamente aislados por lo que se han establecido medidas con distinto grado de aislamiento en fachadas, cubiertas y suelos. También se han sustituido las ventanas por otras de marco de madera y vidrio triple. Se han colocado sistemas de iluminación LED en zonas comunes con detectores de presencia y sistemas de ventilación mecánica con recuperación de calor en algunos edificios.

En cuanto a las instalaciones térmicas, todos los sistemas de generación de gas existentes para calefacción y ACS han sido reemplazados por sistemas de bomba de calor o de cogeneración en combinación con una nueva red de calor urbana que se ha construido en el barrio (ver apartado siguiente). Así mismo, han implantado contadores inteligentes.

La mejora de la envolvente térmica de estos edificios supone una reducción de la demanda de calefacción que varía entre un 39% y un 67%. Las medidas activas suponen un ahorro estimado entre un 64% y un 86% en energía primaria no renovable y entre un 56-86% la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **Sistema de aprovechamiento de calor residual de las aguas residuales**

El uso del agua caliente dentro de los edificios es múltiple; entre ellos su utilización en duchas, bañeras, lavabos, lavavajillas y lavadoras. En todos estos usos el agua utilizada (residual), que va a parar a las redes urbanas, retiene gran parte de su energía inicial que podría ser recuperada.

En Aquisgrán, la temperatura en invierno de las aguas residuales en los sistemas de alcantarillado está entre 15 – 20, más alta que en otras ciudades, 9-14 ° C, debido al flujo adicional de agua geotérmica. Se trata por tanto de una fuente de energía, que se puede utilizar con éxito para el calentamiento de edificios a través de bombas de calor y recuperadores de calor.

La mayoría de las plantas realizadas en Alemania están funcionando en modo bivalente con bombas de calor en combinación con una caldera de gas. La ciudad de Aquisgrán ha instalado un nuevo sistema local de calefacción central que trabaja sólo en modo monovalente. Gran parte del calor suministrado a las viviendas renovadas, incluido el agua caliente, es producido por el nuevo sistema de calefacción (800.000 kWh /año) que recupera el calor del agua residual, mientras que las bombas de calor eléctricas utilizan la energía verde generada por las plantas fotovoltaicas.

El proyecto EU GUGLE ha estudiado la viabilidad económica de este sistema frente a la situación inicial y puede resumirse en la siguiente tabla:

	<b>Sistema de recuperación de aguas residuales</b>	<b>Opción estándar (calderas de gas existentes)</b>	<b>Comparativa de costes</b>
<b>Inversión</b>	780 000 €	Calderas existentes	
<b>Costes de operación; 20 años</b>	Energía gratuita	960 000 €	
<b>Coste total; 20 años</b>	780 000 €	960 000 €	-20 %

*Tabla I. Viabilidad del sistema de recuperación de aguas residuales frente a solución estándar.*

En los edificios de EU-GUGLE, el calor proveniente de esta red urbana se combina con otros sistemas de apoyo:

- En algunos edificios, el calor de la red urbana se combina con sistemas centralizados de bombas de calor edificio con recuperación de calor ubicadas en cada edificio.
- En otros edificios, el calor de la red urbana se combina con el calor proveniente de otra red de calefacción urbana de cogeneración.
- En un edificio, el calor de la red urbana se combina con un sistema centralizado con caldera de gas.

## **Bratislava (Eslovaquia)**

EU-GUGLE también llevará a cabo mejoras en dos distritos, en la zona centro y en la parte occidental de **Bratislava**, donde la imperiosa necesidad de soluciones habitacionales que se produjo hace algunas décadas tuvo como resultado la construcción de un gran número de viviendas de bajo coste y mala calidad. Más de 8.000 m<sup>2</sup> de uso residencial se están rehabilitando, siendo en su mayoría de propiedad privada y están conectados a una red de calefacción urbana.

**Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>**

Las mejoras pasivas incluyen la adición de 12 cm aislamiento exterior de fachada a los 8 cm existentes, 24 cm en cubierta a los 15 cm existentes y 10 cm en suelo en contacto con la planta baja, sustitución de ventanas de vidrio doble por otras más eficientes, cierre de balcones e instalación de un sistema de recuperación de calor con un 78% de eficiencia. Con todas las medidas se puede conseguir aproximadamente un 46% del ahorro de energía.

Las mejoras en los sistemas incluyen la desconexión de la calefacción urbana. El antiguo sistema de calefacción urbana (suministrado por una cogeneración) ha sido sustituido por un sistema centralizado de bomba de calor con un SCOP de 4,35 y un sistema fotovoltaico de 10 kWp. Un sistema de iluminación LED ha sido implementado en espacios comunes.

Con todas las medidas se estima un ahorro del 80% en energía final y un 48% en energía primaria no renovable. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es de alrededor del 71%.

El proyecto EU GUGLE ha estudiado la viabilidad económica del sistema centralizado de bomba de calor+ PV frente a la situación existente que puede resumirse en la siguiente tabla:

	<b>Sistema de bomba de calor aire-agua con apoyo PV</b>	<b>Opción estándar (conexión al DH existente)</b>	<b>Comparativa de costes</b>
<b>Inversión</b>	55 €/floor-m2	Conexión existente al DH	
<b>Costes de operación; 20 años</b>	18 €/floor-m2	120 €/floor-m2	-85 %
<b>Coste total; 20 años</b>	72 €/floor-m2	120 €/floor-m2	-40 %

Tabla II. Viabilidad del sistema de bomba de calor con apoyo fotovoltaico frente a solución estándar.

**Tampere (Finlandia)**

El distrito de Tammela, en la ciudad finlandesa de Tampere, es otro de los bancos de pruebas de EU-GUGLE. En esta zona se han rehabilitado 400 viviendas (32.500 m<sup>2</sup>) de propiedad privada en las que viven unas 560 personas en ocho edificaciones construidas entre los años 60 y 80 del siglo pasado. Este barrio está habitado principalmente por jubilados con renta fija, parejas jóvenes y estudiantes. Las viviendas son de propiedad privada, a través del modelo finlandés de sociedad de responsabilidad limitada de vivienda.

**Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>**

La situación inicial de los edificios del barrio de Tammela no era tan deficitaria en comparación con otros pilotos del proyecto EU-GUGLE. Sus envolventes partían de un espesor de aislamiento significativo tanto en fachada como en cubierta, y las ventanas eran de buena calidad térmica.

En todos los casos, la demanda de energía de los edificios se suministraba por un sistema de calefacción urbana, principalmente generado por centrales de biomasa (astillas y pellets) y plantas de cogeneración de gas natural y residuos lo que supone un aporte de 51,4% de energía renovable. El sistema eléctrico viene suministrado en un 20% por energía renovable (eólica y biomasa).

Las medidas adoptadas que se han implementado en los edificios de Tampere incluyen principalmente:

- La adición de 10-20 cm de aislamiento térmico en fachadas ( $U = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), sustitución de ventanas ( $U = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y cierre de balcones.
- Además se ha instalado un sistema de iluminación LED con control de presencia y un sistema de recuperación del calor de extracción del sistema de ventilación a través de bomba de calor (con diferentes potencias (50 kW, 17, 40 kW...; COP 2-4) para calefacción y ACS que apoyan el sistema de calefacción urbano de la ciudad de Tampere.
- También se ha instalado sistemas de energía solar térmica en algunos edificios y sistemas de monitorización remota en todos ellos.

La mejora de la envolvente térmica de estos edificios supone una reducción de la demanda de calefacción que oscila entre un 20% y un 45%. Estas medidas junto las medidas activas suponen un ahorro estimado de un 60-70% de energía final, un 40-55% de energía primaria no renovable y en torno a un 60-70% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Sistema de recuperación del calor del aire de extracción del sistema de ventilación a través de bomba de calor**

Con el objetivo de reducir el consumo de energía la calefacción urbana se ha combinado con un sistema de recuperación del calor del aire de extracción del sistema de ventilación a través de una bomba de calor.

Las figuras siguientes muestran el consumo de calor medido en uno de los edificios de Tampere. La bomba de calor se instaló a finales de 2014. La reducción del consumo de calor de la red de distrito debido a la recuperación de calor del aire de extracción de ventilación fue de casi el 60%. Antes de esta medida, se instalaron nuevas ventanas (valor U 0,8) y 10 cm de aislamiento en los cerramientos en 2013. Su impacto en el consumo de calor de la red de distrito supuso sólo una reducción del 15%.

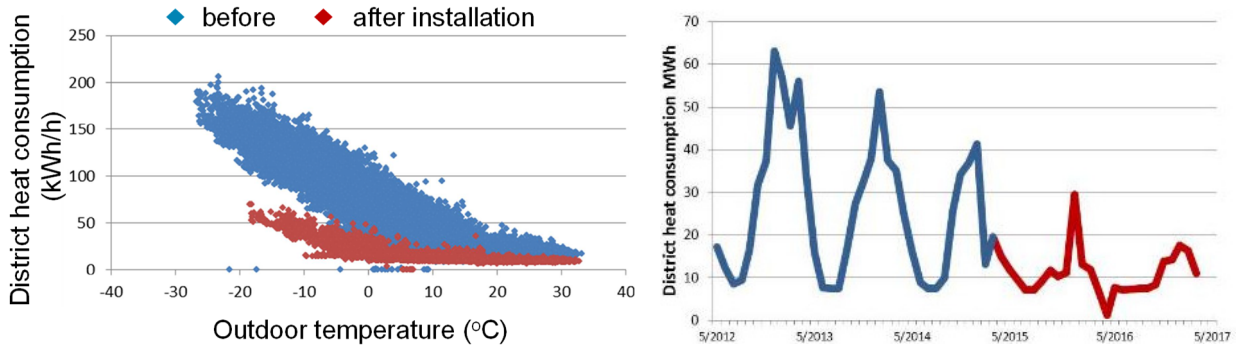


Figura 1. Análisis del consumo de calor proveniente de la red de distrito de Tampere.

La siguiente tabla muestra un análisis comparativo de este sistema respecto a la solución estándar:

	Sistema de recuperación de calor del aire de extracción (nuevo intercambiador y bomba de calor)	Opción estándar (sólo nuevo intercambiador de calor)	Comparativa de costes
Inversión	40 €/floor-m2	10 €/floor-m2	+300 %
Costes de operación; 20 años	185 €/floor-m2	235 €/floor-m2	-20 %
Coste total; 20 años	225 €/floor-m2	245 €/floor-m2	-10 %

Tabla III. Viabilidad del sistema de recuperación de calor frente a solución estándar.

**Milán (Italia)**

En el caso de Milán, se prevé la rehabilitación de más de 17.500 m2 de superficie construida en su mayor parte de uso residencial y una guardería, ubicados en los distritos administrativos 4 y 5, situados al sur de la ciudad. En los últimos años, la ciudad ha desarrollado planes energéticos ambientales y de movilidad sostenible, donde la regulación municipal de construcción se ha actualizado con la inclusión de incentivos para edificios de alta eficiencia.

**Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>**

Las mejoras pasivas planteadas en los pilotos milaneses son muy ambiciosas, incluyendo aislamiento en fachada, en cubierta, en planta baja, así como un tratamiento especial de los diferentes puentes térmicos. Además, las ventanas serán reemplazadas por soluciones con vidrios triples. Se instalará un sistema descentralizado de ventilación mecánica con sistema de recuperación de calor y un sistema de iluminación LED en los espacios comunes.

Algunos de los edificios se conectan a la red urbana de calefacción. También se prevé la instalación de paneles fotovoltaicos en cubierta en alguno de ellos.

La mejora de la envolvente térmica de estos edificios supone una reducción de la demanda de calefacción que oscila entre un 45% y un 65%. Estas medidas junto con las medidas activas suponen un ahorro estimado de un 70% de energía final, un 70-80% de energía primaria no renovable y en torno a un 70-80% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Sestao (Vizcaya-España)

EU-GUGLE también tiene presencia en nuestro país, más concretamente, en Sestao, a 11 kilómetros de Bilbao. Fue uno de los municipios de Vizcaya que se desarrollaron durante el auge industrial del siglo XIX. El distrito donde se encuentra la zona a rehabilitar está en la zona baja de Sestao y es uno de los más afectados por el proceso de desindustrialización.

Se tratan de edificios residenciales que se construyeron con el objetivo de alojar a los trabajadores de la empresa Altos Hornos, la mayoría de ellos con estructuras de madera, mal conservados y con una antigüedad que oscila entre los 80 y los 100 años. La mayoría de las viviendas son de titularidad pública, aunque algunos están en mano de propietarios privados.

### ***Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>***

Los edificios originales de Sestao presentaban escaso o ningún aislamiento en sus cerramientos. Por tanto, las medidas pasivas adoptadas se centran en la adición de aislamiento, sustitución de ventanas por otras de mejor comportamiento térmico y reducción de puentes térmicos. En algunos casos se prevé la instalación de sistema de ventilación con recuperación de calor.

Respecto a las instalaciones térmicas, se prevé implementar en todos los edificios sistemas de calefacción y ACS con caldera de biomasa.

Destaca además la utilización de materiales sostenibles en la obra, como la madera y algodón reciclado en los cerramientos, la instalación de termostatos programables para los sistemas de calefacción, sistemas de encendido/apagado automático en las zonas comunes del edificio, o el uso de bombillas de bajo consumo. En uno de los edificios se habilitará la zona de áticos para apartamentos.

Los ahorros previstos en Sestao oscilan entre 15-60% en reducción de la demanda energética, 80-90% en energía primaria no renovable y 80-90% en reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Viena (Austria)

Otro escenario tiene lugar en **Viena**, donde los edificios seleccionados para el proyecto tienen un uso residencial y se construyeron entre los años 1952 y 1972. Se encuentran en el distrito 14, llamado Penzing, situado en la parte occidental de Viena y se caracteriza porque el 60% de su superficie está cubierta por espacio verde y los bosques vieneses.

### ***Medidas de mejora de la eficiencia energética y estimación de ahorros de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>***

Las mejoras pasivas en Viena son muy ambiciosas. Incluyen un espesor de aislamiento significativo en las fachadas (28cm), cubiertas (40 cm sobre los 13cm existentes) y en el techo de la primera planta en contacto con la planta baja no acondicionada (10 cm). Las ventanas existentes serán reemplazadas por ventanas de vidrio triple. Algunos edificios incluirán sistemas de ventilación con recuperación de calor.

Debido a las implicaciones legales, los sistemas de calefacción existentes apenas se modificarán. En algunos edificios se instalarán sistemas fotovoltaicos en cubierta. En alguno de los pilotos se han construido dos nuevas plantas de apartamentos para rentabilizar la rehabilitación. La mejora de la envolvente térmica de estos edificios supone una reducción de la demanda de calefacción que oscila entre un 40-60%. Estas medidas suponen un ahorro estimado de un 40-60% de energía y un 40-60% de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## MODELO FINANCIERO DE LA REHABILITACIÓN

La siguiente tabla muestra resumidamente los costes de inversión de la rehabilitación en las diferentes ciudades piloto, así como el modelo financiero que se está llevando a cabo.

Los costes de la rehabilitación incluyen no sólo las medidas de ahorro de eficiencia energética. También se consideran las intervenciones en estructura, instalaciones sanitarias, proyecto, supervisión, etc.

Ciudad piloto	Coste total de la inversión (incl. IVA) €/m <sup>2</sup>	Autofinanciación	Ayudas públicas nacionales, regionales o locales	Ayuda europea (EU-GUGLE)
Aquisgrán	527	85%	0%	15%
Bratislava	243	79%	0%	21%
Milán	936	65%	29%	6%
Sestao	409	76%	19%	5%
Tampere	225	79%	2%	19%
Viena	877	79%	15%	6%

Tabla IV. Modelo financiero de la rehabilitación en el proyecto EU-GUGLE.

## ECÓMETRO Y LAS DECLARACIONES AMBIENTALES DEL EDIFICIO DAE

**Iñaki Alonso Echeverría**, CEO, sAtt Arquitectura Abierta, Presidente, Asociación Ecómetro  
**Diego Ruiz Amador**, Físico ACV. Fundador, DDA (Diseño y Desarrollo para el Ambiente), Vicepresidente, Asociación Ecómetro

**Resumen:** ¿Es posible una Declaración Ambiental del Edificio (DAE) como las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP)? En la actualidad, estamos ante una oportunidad histórica para que el sector de la edificación sea parte de la solución de las crisis medioambiental, energética y económica que vivimos. La DAE es una información clave tanto para la valoración del impacto concreto del edificio como para generar una base de datos de impacto ambiental del parque inmobiliario de nuestra ciudad. Ecómetro es una herramienta de código abierto para la medición y lectura transversal de la ecología en el proceso de diseño, construcción y uso de los edificios que se apoya en la caracterización de lo local y el Análisis de Ciclo de Vida.

**Palabras clave:** Ecómetro, ACV, DAE, DAP, Emisiones, Construcción, UNE-EN 15804:2014, UNE-EN 15978:2012, Materiales

### INTRODUCCIÓN

La construcción representa uno entre los principales responsables del consumo de energía total. El objetivo del ECÓMETRO es la medición de los impactos derivados del diseño y la construcción de edificios. Esto lo han hecho otros programas europeos anteriores como el CICLOPE (2009-2010), ENERBUILCA (2010-2012), SOFIAS, ENSLIC, PRESCO, EXTERNE, SUR EURO, etc... pero no se ha conseguido desarrollar un sistema de medición práctico y estable que sea reconocido públicamente y usado. Las metodologías utilizadas son complejas exigen un esfuerzo extra considerable para los técnicos. No existe una base de datos oficial de información ambiental. El trabajo que desarrolla el ECÓMETRO junto a ASA (Asociación de Sostenibilidad y Arquitectura), la OECC (Oficina Española de Cambio Climático) y el IETcc (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja) va encaminado a desarrollar estas herramientas para intentar que el cálculo medioambiental en la edificación se convierta en un ejercicio sencillo, económico y práctico.

### OBJETIVO

La reducción de las emisiones se ha convertido en el caballo de batalla de la lucha por la conservación del medio ambiente. Las emisiones y residuos tienen su origen en los productos y servicios consumidos, por lo que parece razonable imputarles a ellos los impactos ambientales y no a los procesos que los generan. Por tanto, se requiere de un cambio de perspectiva a la hora de abordar el problema, un enfoque que incida en las causas y no en las consecuencias. Es necesario prevenir la generación de impactos en su fuente de origen a través de procesos de mejora y reducción en los que se tomen medidas integrales que incluyan a las etapas de diseño y desarrollo de los productos y servicios.

Esta nueva perspectiva tiene que ser complementada con un enfoque de ciclo de vida completo ya que la interacción de los productos con la ecosfera y la tecnosfera (1) no sólo se circunscribe a la etapa de producción, sino que se produce desde el momento en que se extraen las materias primas y se generan los recursos energéticos empleados en su producción hasta el momento en que dejan de ser útiles y terminan en una planta de reciclaje, en una incineradora o en un vertedero. Entre medias hay otros procesos cuyos impactos también han de ser imputados como pueden ser la etapa de transporte de las materias primas hasta el lugar donde se procesan o la etapa de uso.

La adopción de esta perspectiva integradora y holística en la imputación de impactos a lo largo de todo el ciclo de vida supone una ampliación de los límites temporales y geográficos tradicionalmente inscritos únicamente dentro de los centros de producción. Muchas iniciativas de reducción de impactos se centran en alguna etapa en concreto del ciclo de vida del producto no considerando otras que pueden suponer igual o mayor afección al medio.

El análisis del ciclo de vida (ACV) es la herramienta óptima para el análisis objetivo de los impactos asociados al proceso constructivo y que aporta información valiosa en la toma de medidas para corregir los impactos derivados. El objetivo de esta presentación es establecer una metodología de cálculo que sea práctica y objetiva para que la introducción de las técnicas de ACV en la construcción sea posible, sencilla y rigurosa. Para ello primero analizaremos el funcionamiento de la metodología del ACV en su marco normativo y su aplicación a la construcción a través de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAPs) y las Reglas Categorías de Producto (RCP). En segundo lugar, veremos la situación actual de las bases de datos medioambientales y las bases de datos de precios de la construcción, para ver

cómo se pueden cruzar y obtener de una manera sencilla lo que podríamos llamar la huella ambiental de un edificio o la declaración ambiental del edificio.

## METODOLOGÍA ACV

En el caso concreto de la edificación, hemos asistido durante las últimas dos décadas a muchas iniciativas de reducción de impactos que se centran en la etapa de uso del edificio conocidos como impactos directos (consumos en climatización y calefacción, consumo de electricidad o de agua) olvidando o no considerando otros aspectos ambientales que pueden suponer una fuente importante de impactos como aquellos derivados de la extracción y producción de materiales de construcción, del mantenimiento de los productos y sistemas que componen el edificio, del fin de vida del edificio y sus materiales, del transporte de todos estos flujos, etc. (impactos indirectos). La interacción entre estas dos fuentes de impactos puede ser compleja y ha de ser evaluada en su totalidad. Por ejemplo, una medida destinada a la reducción de los impactos directos de un edificio puede suponer un incremento de los impactos indirectos al utilizarse materiales o sistemas más tecnológicos o con un mayor nivel de procesado o en mayor cantidad.

De otra manera, la elección y colocación (a través del diseño) de los productos y sistemas de construcción puede afectar a la masa térmica del edificio que unido a unas determinadas condiciones climáticas del emplazamiento modificará en mayor o menor medida los consumos energéticos durante la etapa de uso. A su vez, el perfil de uso del edificio, o cualquiera de sus partes, puede hacer que la elección de un material sea o no ambientalmente preferible frente a otros. La conveniencia ambiental de un producto o material de construcción dependerá de cuál es la función que desempeñe o de cómo se emplee.

Por otro lado, los intentos por reducir un determinado impacto ambiental global (por ejemplo, la generación de gases de efecto invernadero) pueden suponer el incremento de otros impactos con mayor repercusión a una escala espacial más reducida (acidificación, eutrofización, etc.). En la imputación de cargas ambientales se hace necesario trabajar con una batería de impactos suficientemente amplia y representativa con el fin de caracterizar adecuadamente el perfil ambiental de las opciones evaluadas.

En el fondo de la cuestión subyace la idea de que cualquier medida que pretenda reducir el impacto ambiental no suponga un trasvase o externalización de este impacto, ya sea en su naturaleza, ya sea en la escala temporal o geográfica en que se produzcan.

Es necesario empezar a desterrar las soluciones ambientalmente preferibles a priori, basadas en prejuicios o ideas preconcebidas (bajo el adjetivo de “ecológicas”), ya que en muchos casos son producto del desconocimiento de las interacciones reales con el medio, mientras que, en otros, lo son de campañas bien orquestadas de lavado de imagen.

Sin duda, el primer paso a la hora de reducir las emisiones consiste en evaluar su cantidad y naturaleza en el punto de partida del proceso de reducción de impactos. De esta manera, se constata el hecho de que para reducir o mejorar hay que poder comparar, y que para comparar se hace imprescindible medir el estado final y el de partida del proceso de mejora o de las alternativas propuestas. Para ello se hace necesario el uso de una metodología o herramienta que objetive ambos estados y constate dicha mejora ambiental bajo la perspectiva del ciclo de vida.

## ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA, CONTEXTO NORMATIVO

El ACV queda definido por la norma ISO 14040 como una herramienta para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados a un producto mediante:

- La recopilación del inventario de entradas y salidas relevantes para los límites del sistema bajo estudio. Se entiende por entrada cualquier recurso empleado a lo largo de las etapas del ciclo de vida del producto, esto es, materias primas, energía, etc. A su vez, se entiende por salidas las emisiones al aire, al agua y al suelo, así como los residuos y los subproductos generados en cada una de estas etapas.
- La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a dichas entradas y salidas.
- La interpretación de las dos etapas anteriores, esto es, el análisis de inventario y la evaluación de impactos, de acuerdo con los objetivos planteados al inicio del análisis.

A diferencia de otras metodologías o herramientas de gestión ambiental, el ACV no se centra exclusivamente en la recopilación de los aspectos ambientales, sino que va más allá al determinar el impacto que éstos generan. Los aspectos ambientales son las entradas y salidas del sistema del producto, mientras que los impactos son las consecuencias que estos aspectos generan en el medio ambiente.

La aplicación de esta metodología del ACV a un edificio está desarrollada en la Norma UNE-EN 15978:2012 “Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo”. Esta norma se puede aplicar en edificios nuevos, en edificios existentes y en proyectos de rehabilitación. La norma especifica el método de cálculo que permite evaluar el comportamiento ambiental de un edificio e indica cómo elaborar un informe y comunicar los resultados de la evaluación. Incluye todos los productos, procesos y servicios de construcción relacionados con los edificios, utilizados a lo largo del ciclo de vida del edificio. El método de evaluación tiene como datos de partida la información obtenida a partir de Declaraciones Ambientales de Productos (DAPs) así como de los datos de uso de materiales, productos de construcción y de energía contemplados en el proyecto.

Una Declaración Ambiental de Producto (DAP) es un documento en el que se informa del impacto ambiental basado en ACV de un producto, un material o un servicio y que pasa por un proceso de verificación y certificación. Las DAPs sirven para comunicar de forma verificable, precisa y no engañosa la información ambiental de los productos y sus aplicaciones, apoyando así una toma de decisiones justa con base científica y desarrollando las posibilidades de mejora continua ambiental impulsadas por el mercado. Se basa en el inventario de datos del análisis del ciclo de vida y en otras informaciones adicionales. Cada producto de construcción pertenece a una categoría de producto, es decir, a un grupo de productos de construcción que pueden cumplir funciones equivalentes. Para cada categoría de producto la UNE-EN ISO 14025:2010 define las Reglas de Categoría de Productos (RCP) como el conjunto de reglas específicas, requisitos y guías para el desarrollo de declaraciones ambientales tipo III para una o más categorías de productos.

En lo referente a los productos de construcción las DAPS y RCP quedan reguladas en la Norma UNE-EN 15804:2014 “Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción”. En esta Norma define unas categorías de impacto específicas acidificación, eutrofización, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, y agotamiento de recursos abióticos. El Comité Técnico de Normalización 198 de AENOR “Sostenibilidad en la Construcción” y en la última reunión plenaria del CTN 198 en marzo de 2014, se informó de que ya se están revisando las normas EN 15978 y EN 15804 para introducir nuevos indicadores de impactos ambientales tanto a nivel de edificio (uso del terreno, biodiversidad, ecotoxicidad y toxicidad humana) como de producto (radiaciones ionizantes, escasez de agua, etc). Es necesaria la introducción de estas categorías de impacto para tener un análisis medioambiental más completo y riguroso llegando de una manera más clara a los impactos que afectan a la salud humana.

## **APS Y BASES DE DATOS MEDIOAMBIENTALES DE LOS PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

Es necesaria la creación de una base de datos abierta y estable que dé rigor y homogeneidad a los datos medioambientales que están en proceso de creación. Es cierto que estamos en un momento de incipiente creación de metodología y de análisis de datos para poder introducirlo en el análisis de los procesos constructivos, pero no puede generar desconcierto y batallas aisladas cuando la intención general es construir ese marco común que establezca unas reglas claras para el análisis de la sostenibilidad en la construcción. En este contexto creemos que es necesaria una base de datos medioambientales que sea oficial, abierta, transparente, y estable. Esto evitará las batallas actuales que se están produciendo en el contexto de la Huella de Carbono, con diferentes iniciativas privadas en el cálculo de Huella de Carbono, pero sin una metodología única, transparente y clara en la obtención de los datos y las metodologías de cálculo. Estas herramientas han surgido por una demanda clara del sector de servicios de la construcción para poder hacer un análisis del impacto en Huella de Carbono y de esta manera poder ofrecer alternativas.

Necesitamos una base de datos nacional donde poder introducir las diferentes DAPs de los fabricantes de producto de la construcción que las vayan desarrollando y donde también podamos introducir valores medioambientales genéricos. En Europa podemos encontrar las siguientes bases de datos ambientales: ELCD data base v.II (<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/>, Europa), ECOINVENT v.3 (<http://www.ecoinvent.ch/>, Suiza y Alemania), IVAM LCA v4.06 (<http://www.ivam.uva.nl/>, Holanda), BOUSTEAD MODEL 6.0 (<http://www.boustead-consulting.co.uk/>, U.K),

IDEMAT 2001(<http://www.io.tudelft.nl/>, Países Bajos), BABI DATA BASE (<http://www.gabi-software.com/>, Europa), ETH-ESU (<http://www.uns.ethz.ch/>, Suiza), GEMIS 4.5 (<http://www.iinas.org/gemis-de.html>, Alemania).

Después de haber valorado hacer una base de datos propia, abierta y gratuita, definitivamente apuesta por la base de datos a nivel nacional que está desarrollando el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), un centro oficial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), perteneciente al Área de Ciencia y Tecnología de Materiales. La base de datos IETcc será una base de datos abierta y gratuita, con información ambiental estable y oficial, apoyada por la Oficina Española de Cambio Climático, que se denomina OPENDAP. Esta base de datos está en proceso de desarrollo y albergará los datos medioambientales divididos en tres calidades de dato:

- Calidad 1: DAPs de fabricantes específicos, son los datos más objetivos.
- Calidad 2: DGs datos genéricos, son datos estimados de otras DAPs similares
- Calidad 3: VER Valores Estimados de Referencia, datos recogidos de bases de datos generales, a las que tenemos acceso libre pero no podemos comprobar todo su proceso de obtención de los datos.

El futuro del análisis medioambiental de los edificios se dibuja a través de la incorporación de las DAPs en los sistemas de medición, es decir las diferentes bases de precios, y añadiendo la parte derivada del transporte y la vida útil de cada producto. Mientras que no se disponga de esa base de datos de DAPs tendremos que trabajar con información de datos genéricos (DGs) o valores estimados de referencia (VER). Se hace necesaria la creación de un marco consensuado que permita desarrollar los estudios de ACV con un grado suficiente de rigor, credibilidad y transparencia. Aunque se ha recorrido un largo camino en el alineamiento y armonización internacional de las RCP de diferentes sistemas DAP, la robustez, transparencia y veracidad sólo se alcanzará cuando éstas se conviertan en normativa de aceptación internacional (Subramanian et al. 2012).

## **BASES DE DATOS DE PRECIOS DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN**

Las bases de datos de unidades de obra existente en el sector de la edificación en España son numerosas y abarcan diferentes ámbitos geográficos (nacionales, provinciales y/o regionales). Estas bases de datos miden tres conceptos básicos, mano de obra, maquinaria y materia. Para el estudio medioambiental de un edificio de momento vamos a tener en cuenta los dos impactos más importantes, maquinaria y materiales. La maquinaria la vamos a encontrar en horas y los materiales los necesitamos en kilogramos. Si los materiales no están en esta unidad debemos tener el resto de información para poder tener la unidad de masa como referencia, es fundamental para poder asociar la información ambiental cuando no tenemos DAPs. Las bases de datos más importantes a nivel nacional son:

- Base de datos de CENTRO (COAAT Guadalajara) (CENTRO).
- Banco de precios de la construcción Andalucía (FCBP Sevilla).
- Base de datos de precios de la construcción. Com. Valenciana. (IVE).
- Banco BEDEC de precios de referencia y módulo gestor. Cataluña. (ITEC).
- Base de precios de la construcción de Castilla y León.
- Base de precios de la construcción de Extremadura.

Estas bases de datos son las herramientas que se utilizan cotidianamente por los técnicos relacionados con la edificación, especialmente los arquitectos técnicos a través de software específico de medición y presupuestos, por esta razón consideramos que son la herramienta necesaria para poder asociar la información medioambiental de los productos, bien con datos genéricos o con DAPs.

## **PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UNA DECLARACIÓN AMBIENTAL DEL EDIFICIO**

El Código Técnico de la Edificación (CTE) en su artículo 13 hace referencia a la relación de la edificación con el medioambiente "... las obras deberán proyectarse y construirse de forma que no supongan una amenaza para el medio ambiente, en particular como consecuencia de fugas de gas tóxico, presencia de partículas o gases peligrosos en el aire, emisión de radiaciones peligrosas, contaminación o envenenamiento del agua o del suelo, ...". (CTE 2009).

A pesar de esto último, en la actualidad no se dispone de herramientas claras para la medición de esos impactos en la edificación. Hasta ahora, las iniciativas que han intentado incorporar el ACV al proceso constructivo no han

desarrollado un mecanismo que integre de manera sencilla la evaluación de impactos del ACV con la realidad del día a día en los estudios de arquitectura y oficinas de ingeniería. En la mayoría de los casos, estas iniciativas suponen la creación de herramientas ajenas a las ya presentes en dichos centros de trabajo y en cuyo uso se emplea un lenguaje ajeno al perfil del potencial usuario. Esto supone una barrera importante para la incorporación de dichas herramientas a la realidad de los diseñadores. Por otro lado, no existe una base de datos medioambiental de materiales, productos y procesos empleados en el sector en el sector donde se pueda acceder a información transparente, armonizada y de rigor. Pensamos que estas son las dos razones principales para proponer el desarrollo de un programa de cálculo de huella ambiental a pesar de los realizados hasta ahora. suponiendo el auténtico valor añadido del ECÓMETRO.

En el ACV que se contempla en el ECÓMETRO se tiene en cuenta las partidas de obra de los materiales y productos de construcción con mayor presencia en el mercado, su transporte hasta obra y la vida útil de estos, así como el empleo de energía y agua en la propia etapa de construcción del edificio. Los datos ambientales de que dispone en la actualidad el ECÓMETRO son genéricos de la realidad productiva de Europa, pero la herramienta permite la incorporación de información ambiental procedentes de DAPs para productos y materiales asociados a un fabricante en concreto. De esta manera es posible calcular el impacto ambiental del edificio en su etapa de extracción y fabricación de los productos de construcción, su transporte, la construcción del edificio y el mantenimiento de los dichos productos durante la etapa de uso del edificio. Las líneas de trabajo del ECÓMETRO a corto-medio plazo son:

- Creación de una base de datos basada en DAPs y datos genéricos.
- Georeferenciación de fabricantes de materiales de la construcción a través de sistemas de Información Geográfica.
- Desarrollar colaboración con la base de CENTRO del colegio de aparejadores de Guadalajara para reflejar su información en formato BIM para una conexión directa entre productos y materiales con la base de datos ambientales del ECÓMETRO.
- Incorporación al ACV de los impactos derivados de los consumos energéticos durante la etapa de uso del edificio.

Con todos estos aspectos desarrollados, se podría calcular los impactos ambientales basados en ACV de la construcción de forma rápida, que aporte información para la toma de decisiones en las que se pongan en las mesas los aspectos económicos y medioambientales. De igual modo, una vez tomadas dichas decisiones, la información ambiental generada formaría parte de lo que podríamos llamar la Declaración Ambiental del Edificio (DAE). La aplicación del ACV a la construcción a través de las DAE introduce una nueva perspectiva bajo la que se obtiene valiosa información que puede apoyar la toma de decisiones en la elaboración de medidas de reducción de impactos por parte de los distintos agentes involucrados en el sector.

Para planificadores urbanísticos, asesores municipales y promotores:

- Ayudar en la planificación de estrategias a nivel municipal, regional o estatal y por tanto en la implantación de políticas de ayudas a la construcción y a la rehabilitación, etc.
- Definición objetiva de criterios más adecuados para la contratación y la compra pública verde.
- Establecer prioridades para el diseño ecológico o la eco-rehabilitación de edificios.

Para arquitectos e ingenieros:

- Identificar oportunidades de reducción de impactos ambientales considerando el ciclo de vida completo de los edificios.
- Comparar ambientalmente distintas opciones de diseño.
- Seleccionar de proveedores de productos de construcción.
- Proporcionar datos partida de materiales a los sistemas de certificación ambiental de edificios que muestran un creciente interés por la información obtenida mediante esta metodología. Etiquetado de edificios.

Para fabricantes de productos de construcción el ACV permite:

- Evaluar los impactos ambientales de sus productos y oportunidades de mejora.
- Ecoetiquetado y declaraciones ambientales de sus productos (DAP).

En la actualidad, estamos ante una oportunidad histórica en la que el sector de la edificación puede pasar de ser parte del problema a ser parte de la solución de las crisis medioambiental, energética y económica que vivimos.



# EXPERIENCIAS DE USO Y OPERACIÓN DE UN EDIFICIO DE 171 VIVIENDAS SOCIALES DE ENERGÍA CASI NULA – ANÁLISIS AMBIENTAL Y SOCIO-ECONÓMICO

**Alberto Ortiz de Elgea**, Responsable de Innovación y Sostenibilidad, VISESA

**David Grisaleña**, Técnico de Innovación y Sostenibilidad, VISESA

**Patxi Hernández**, Investigador Eficiencia Energética, TECNALIA

**Beatriz Sanchez**, Investigadora Eficiencia Energética, TECNALIA

**Resumen:** Este artículo presenta los resultados de uso y operación del edificio de 171 viviendas sociales en Salburua (Vitoria-Gasteiz), diseñado según criterios de eficiencia energética y aprovechamiento de energía renovable. Se observa que los consumos son significativamente menores a los esperados en fase de proyecto, especialmente en términos de consumo de calefacción, a lo que ha colaborado la gestión individual de los vecinos, facilitada mediante la provisión de sistemas de control y gestión de su demanda individual. Se presenta y discute el modo en el que las inversiones adicionales en edificios de consumo de energía casi nulo se trasladan en beneficios económicos para los habitantes durante los años de operación, y en beneficios ambientales cuando se considera todo el ciclo de vida.

**Palabras clave:** Operación, Uso, Viviendas Sociales, Consumo Energético Casi Nulo, Análisis Económico, Ciclo de Vida, Ciclo de Costes

## INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación es clave en el cumplimiento de los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero de la unión Europea, y la directiva de eficiencia energética en edificación marca objetivos claros en este aspecto, exigiendo diseño de nuevos edificios de energía “casi nula” a partir de 2020. Sin embargo, un aspecto que no se trata con la misma atención, pero que es de vital importancia, es el comportamiento real de los edificios, los datos de su operación y uso, y el análisis y comprobación de que los resultados en cuanto a comportamiento energético responden a las expectativas de diseño.

Esta comunicación describe los resultados de operación y uso de energía en el edificio de 171 viviendas sociales en Salburua (Vitoria-Gasteiz), fue diseñado según criterios de eficiencia energética y aprovechamiento de energía renovable, incluyendo instalaciones de cogeneración y una instalación fotovoltaica. El edificio dispone asimismo de un sistema avanzado de gestión y monitorización de instalaciones que permite conocer la operación y el uso de energía tanto a nivel de edificio como de vivienda individual.

En los resultados de la monitorización de los primeros años de operación de este edificio, se ha podido observar cómo los datos totales de consumo del edificio son similares a los esperados en fase de proyecto. Estos buenos resultados, se deben en parte a un cuidadoso uso de la calefacción y ACS, que se facilita mediante la provisión a cada vecino de un sistema adicional de control y gestión de su demanda de calefacción y ACS. Este sistema consiste en una aplicación informática a través de la cual se realiza el pago anticipado de estos servicios.

Incluso en casos como este, donde se espera un control cuidadoso del consumo por parte de los usuarios, existen igualmente grandes diferencias entre el consumo energético de los diferentes vecinos. Un análisis de estas diferencias y su comparación con edificios sin sistemas de gestión individual es presentado en este artículo.

Con los datos reales de operación y uso del edificio se realiza asimismo un análisis ambiental y económico, en el que se ha tenido en cuenta tanto la inversión inicial, como las actuaciones de uso, operación y mantenimiento del edificio. A partir de este análisis, se visualiza y comenta la importancia relativa del uso y operación del edificio respecto a las otras fases del ciclo de vida de edificio, y en particular se contrasta como la mayor inversión inicial del edificio por parte del promotor, se traslada en beneficios económicos para los habitantes durante los años de operación del edificio.

## DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y DETALLES DE OPERACIÓN DE INSTALACIONES ENERGÉTICAS

El edificio de 171 viviendas sociales en Salburua (Vitoria-Gasteiz) ha sido diseñado según criterios de eficiencia energética, aprovechamiento de energía renovable y sostenibilidad; y pretende aportar el máximo confort a sus habitantes con el mínimo consumo energético.

Las fachadas se componen de paneles prefabricados de hormigón trasdosados al interior con panel de cartón yeso y altos niveles de aislamiento, llegando a un valor de transmitancia de  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Se ha prestado especial atención al correcto aislamiento en los cantos de los forjados en el encuentro con los paneles de hormigón con el objeto de minimizar los puentes térmicos, y a los encuentros de carpintería exterior con fachada. Las carpinterías exteriores son de aluminio con marcos cuya transmitancia es de  $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . El conjunto de marco y vidrio presenta una transmitancia para el hueco de  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . En el caso de la cubierta, la transmitancia es inferior  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ , siendo todos estos valores por debajo de las exigencias normativas vigentes en ese momento. Para asegurar una buena calidad del aire interior y el confort de los usuarios se ha instalado un sistema de ventilación mecánica controlada de doble flujo con recuperación de calor y módulos de regulación en las entradas y salidas (locales húmedos) del aire, lo que permite un mayor ahorro energético.

Asimismo, se han cuidado las posibles pérdidas energéticas por infiltraciones de aire, prestando especial atención a los principales puntos de fuga a través de grietas de las viviendas (juntas de suelos/techos con paredes, juntas de puertas y ventanas y pasos de instalaciones) y se han realizado sellados para reducir dichas infiltraciones.



Figura 1. Diferentes vistas del edificio de 171 viviendas sociales terminado.

Las instalaciones energéticas se componen de dos calderas de gas natural de alto rendimiento y 240kW cada una, complementadas por dos motores de cogeneración con una potencia eléctrica de 5,5 kW y una potencia térmica de 12,5 kW cada uno. El edificio también integra una instalación fotovoltaica con una potencia pico de 59 kW, que cubre 430 metros cuadrados en la fachada sur.

Para una operación eficiente de las instalaciones, se dispone de un sistema de monitorización de producción y consumos por cada elemento de generación, e individual de consumos de calefacción y ACS. Se diseñó y desarrolló asimismo un sistema de predicción demanda energética del bloque de viviendas, y un algoritmo de gestión y operación de los motores de micro-cogeneración. Estos datos son accesibles para el gestor del edificio y el propietario de las instalaciones, a través de una aplicación web.

Paralelamente al sistema de gestión de instalaciones, el edificio cuenta con un sistema para facilitar la participación de los habitantes en la gestión energética de sus consumos de energía térmica. El sistema consiste en una aplicación accesible para cada vecino individualmente a través de una pantalla táctil ubicada en su vivienda. La aplicación permite al usuario un conocimiento instantáneo de su consumo de energía térmica, tanto en agua caliente como en calefacción, y gestionar los pagos de energía de acuerdo a sus capacidades y necesidades, efectuando un prepago de los consumos energéticos. El usuario tiene un conocimiento en tiempo real de su consumo en los diferentes usos de energía térmica y puede decidir, de esta manera, pautas de comportamiento de cara a optimizar su consumo. La interacción y gestión de pagos se realiza de manera rápida y simple a través de la mencionada aplicación.



Figura 2. Imagen del sistema de gestión de pagos de consumo energético.

## RESULTADOS DE OPERACIÓN Y USO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO

Teniendo en cuenta que las principales inversiones realizadas han sido sobre las características pasivas de la vivienda para reducir la demanda de calefacción, a continuación se va a analizar y comparar los consumos de calefacción reales, frente a los consumos de diseño y los calculados para la certificación energética. Durante la redacción del proyecto constructivo se estimaron los consumos de calefacción a través del lanzamiento de simulaciones con el software DesignBuilder, partiendo de los datos de transmitancia expuestos en el punto anterior. Estos consumos pueden ser ahora comparados con los consumos reales obtenidos gracias al sistema de monitorización instalado en el edificio, y con los consumos estimados en el informe de Certificación Energética del edificio terminado. De esta manera obtenemos la siguiente comparativa:



Figura 3. Comparativa de consumos de calefacción: proyecto, Certificación energética y Real.

Como se puede apreciar en la figura 3, los datos de calefacción han resultado ser mucho menores que los calculados inicialmente. Este hecho es debido principalmente a varios factores determinantes: por un lado, al tratarse de viviendas sociales para personas con bajos ingresos, muchos usuarios han optado por reducir el uso de la calefacción al mínimo para, de esa manera, reducir la factura a pagar por este concepto; por otro lado el sistema de autogestión energética con prepago ha permitido a los usuarios ser conscientes de sus consumos y así manejarlos y adecuarlos a sus propias circunstancias personales; y finalmente un año climatológicamente benévolo a nivel de temperaturas, siendo uno de los más calurosos de la historia según los registros actuales.

Como se puede observar en la figura 4, un número elevado de viviendas, (en torno al 60%) tienen un consumo anual en calefacción menor de 1,000 kWh, y cerca del 40% de viviendas tienen un consumo anual en calefacción menor de 500 kWh. Estos valores de calefacción, por debajo de 10kWh/m<sup>2</sup>año, ciertamente pueden considerarse “casi nulos”

para un clima como Vitoria – Gasteiz (zona climática D1), y son mucho más bajos que los usos energéticos para ACS, que en estas viviendas rondan los 1,700 kWh anuales.

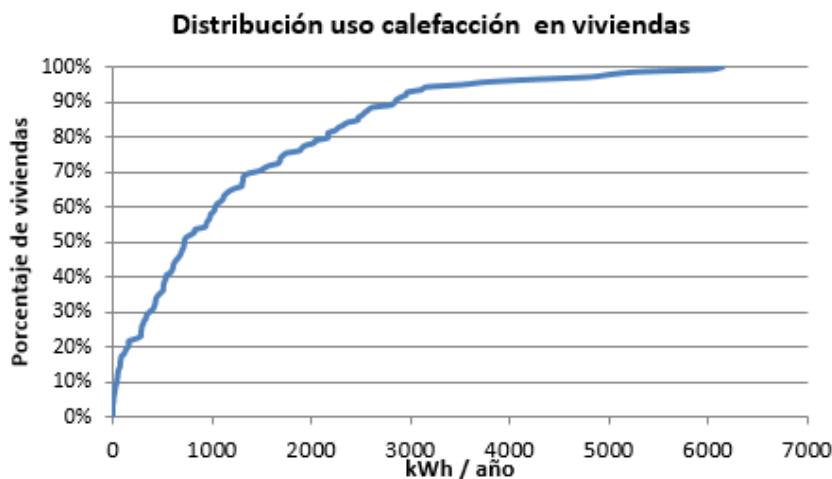


Figura 4. Distribución del uso de calefacción en las 176 viviendas monitorizadas.

Entre otras cosas, el análisis de los resultados abre varios debates interesantes acerca de la vertiente cultural del concepto de confort y cómo éste debería influir en el diseño de viviendas sociales; cómo enfocar el control y gestión de instalaciones y sobre la conveniencia de la centralización en distribución de calor. También aporta información sobre la necesidad de contemplar a largo plazo los efectos que el cambio climático puede tener sobre los parámetros de diseño de las edificaciones de consumo casi nulo.

En cuanto a la operación de las instalaciones energéticas, los motores de micro – cogeneración operan siguiendo la demanda térmica de calefacción y ACS, funcionando de manera constante contra depósito. Por su parte, las calderas operan en cascada, en función de la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior de la vivienda. En la práctica, se han encontrado barreras legales para su operación ya que la legislación no permite usar dispositivos de micro – cogeneración para el autoconsumo, y para lograrlo deberían estar aislados de la red principal, no siendo este el caso.

La instalación fotovoltaica, por su parte, consiste en 430 m<sup>2</sup> de superficie de captación, cubierta por 256 paneles agrupados en 12 inversores monofásicos de 5kW con una potencia pico nominal total instalada de 59 kWp. Esta instalación ha supuesto una generación total para el año 2016 de 36 MWh. Inicialmente se diseñó la instalación para venta primada de la electricidad, pero durante el proceso de ejecución de la obra se suprimieron los incentivos económicos, lo que afectó gravemente a la rentabilidad prevista. Se valoró rediseñar la instalación para autoconsumo, pero los múltiples inconvenientes encontrados decantaron la decisión hacia mantener inicial. La retribución recibida es la resultante del precio de mercado (aprox 5 €/MWh), muy inferior a la retribución prevista inicialmente con primas.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE USO RESPECTO A LA INVERSIÓN

Para evaluar la relevancia del uso y operación del edificio en relación a su construcción, tanto en la dimensión económica como ambiental, se ha realizado un análisis de ciclo de vida (ACV), y un análisis de costes de ciclo de vida (ACCV). El ACV es una herramienta metodológica, se desarrolló a través de los años setenta y ochenta, y se ha utilizado para la evaluación del impacto ambiental en proyectos de construcción desde los años 90 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El ACV sirve para medir el impacto ambiental de un edificio a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida). El ACCV permite una evaluación económica del edificio en su ciclo de vida, se puede llevar a cabo paralelamente al análisis ambiental. Estas herramientas permiten, entre otras cosas, como inversiones iniciales adicionales en edificios de consumo de energía casi nulo, pueden trasladarse en beneficios económicos para los habitantes durante los años de operación, y en beneficios ambientales cuando se considera todo el ciclo de vida.

La norma UNE-EN 16627:2016 – “Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo” y la norma UNE-EN 15978:2012 – “Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Método de cálculo”, describen los principales pasos para una evaluación del impacto del ciclo de vida de los edificios y proporcionan una guía para la cuantificación de los impactos ambientales y económicos. Los cálculos presentados en esta sección muestran el ACV y ACCV para el edificio A-32 considerando una vida útil de 50 años del edificio, valor usado habitualmente en estudios de ciclo de vida de edificios (Malmqvist et al, 2011). En la definición de los parámetros y límites del sistema a analizar, hay que simplificar varios otros aspectos de acuerdo con su relevancia (Oregi et al, 2017). Los límites del sistema analizado para la A-32 incluyen las fases de fabricación de productos y construcción del edificio, y el uso y operación del edificio se limita a la energía empleada para climatización y agua caliente sanitaria, simplificando de esta manera el análisis en función de la relevancia de las distintas fases del ciclo de vida y de los aspectos más relevantes a analizar en relación al diseño del edificio, dejando aspectos como el uso eléctrico individual que es más independiente del diseño del edificio.

En términos generales, los resultados de ACV muestran que los impactos ambientales están dominados por la etapa de producto, es decir, la fabricación de productos y la construcción del edificio, siendo esta la mayor contribuyente al impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. Esto supone una diferencia considerable con edificios convencionales o de antigua construcción, en la que la fase de uso es la principal contribuyente a los impactos ambientales de un edificio a lo largo de su ciclo de vida, debida principalmente al alto uso de energía para su climatización.

La figura 5 representa las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente asociadas al caso de estudio en kg/m<sup>2</sup> de superficie climatizada durante una vida útil de 50 años, calculadas a partir de los datos monitorizados de demanda energética del edificio.

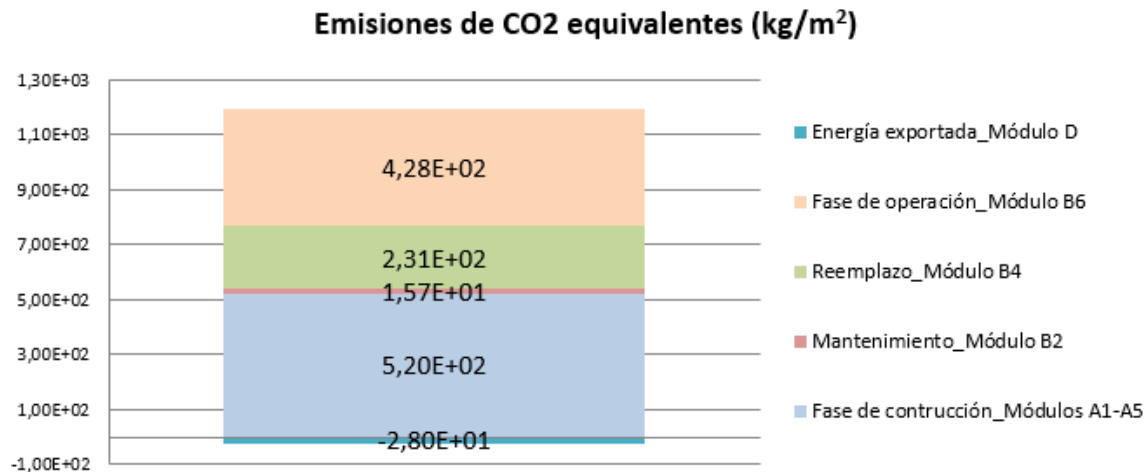


Figura 5. Emisiones CO<sub>2</sub> equivalentes asociadas al caso de estudio - cálculo según UNE-EN 15978:2011.

En cuanto al análisis económico, la fase de construcción del edificio es responsable de más del 70% del coste total del mismo durante su vida útil (50 años), seguida por la fase de operación, donde el gasto energético representa cerca del 15% del total de costes del ciclo de vida. Es importante destacar de nuevo la gran importancia de la inversión inicial en los edificios de energía casi nula, donde las inversiones realizadas suponen un menor peso final de la fase de operación del edificio, en la que los gastos energéticos son muy bajos.

Si nos centramos en las inversiones llevadas a cabo, es interesante indicar en este aspecto, que la inversión adicional en instalaciones (0,43 %) y mejoras energéticas del edificio (2,51%), que ascienden a un 2,94% de la inversión inicial, repercuten en unos ahorros de energía para el usuario del 67%. Comparando con un edificio tradicional, el retorno económico de la inversión adicional sería de 6 años, y lo que es más importante, repercute en el usuario final, en este caso, los ocupantes de las viviendas sociales. Los datos muestran, por tanto, que es posible construir viviendas eficientes energéticamente (cumpliendo las exigencias europeas para 2020) con un coste similar al de las viviendas sociales que promueve actualmente Visesa y consiguiendo ahorros cercanos al 70% para sus futuros usuarios/as.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El edificio A-32 fue construido con especificaciones muy superiores a edificios de su entorno (viviendas sociales) en términos de eficiencia energética e integración de energías renovables. El edificio se dotó asimismo de avanzados sistemas de control y gestión de las instalaciones, y de un sistema de autogestión del consumo y gasto en energía para los usuarios.

En este sentido, se contribuye a reducir en gran medida los impactos ambientales de la fase de uso, hasta el punto poco habitual en el que la fase de construcción del edificio pasa a ser la mayor responsable de los impactos ambientales del ciclo de vida del edificio. Esta observación es de gran interés puesto que, en un futuro en el que la mayoría de edificios deberán tener prestaciones superiores o similares a éste en cuanto a comportamiento energético en fase de uso, deberá prestarse progresiva atención a los materiales y procesos de construcción si se quiere reducir aún más los impactos ambientales.

Otro factor muy interesante en cuanto al análisis económico del edificio, se refiere a cómo una mayor inversión inicial se traduce en beneficios para el usuario.

La reducción de la demanda de calefacción para el edificio A-32 en fase de diseño fue en torno al 51% en comparación a un edificio convencional según los estándares del Código Técnico de Edificación (CTE).

Tal y como se ha comentado anteriormente, la producción energética de los paneles fotovoltaicos instalados en la fachada sur del edificio se inyecta en la red de la compañía suministradora y se vende a precio de mercado eléctrico. Tal y como Visesa hace en otros edificios que gestiona, la decisión es hacer partícipes a los vecinos de los beneficios obtenidos por ello. Sin embargo, la nueva ley ha hecho que actualmente el balance económico sólo permita sufragar el mantenimiento de la instalación. En un futuro, si la normativa vuelve a favorecer la generación renovable, los vecinos podrán beneficiarse de ello.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea, dentro del contrato número 754174, correspondiente al proyecto proyecto AZEB “Affordable Zero Energy Buildings”. El proyecto trata del desarrollo de una metodología para disminuir el coste global de ciclo de vida de edificios cero energía.

## REFERENCIAS

- MALMQVIST, T.; GALUMANN, M.; SCARPELLINI, S.; ZABALZA, I.; ARANADA, A.; LLERA, E.; DIAZ, S. Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. *Energy* 2011, 36, 1900–1907.
- OREGI, X., HERNANDEZ, P., HERNANDEZ, R., (2017) Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects, *Energy and Buildings* 136, 12-25

# ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE TODOS LOS ELEMENTOS DE UN EDIFICIO DESDE SU DISEÑO

Licinio Alfaro, Jefe Dpto. de Construcción Sostenible, Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC)

Jose Lucas, Técnico Departamento de Construcción Sostenible, ITeC

Gloría Díez, Técnico Departamento de Construcción Sostenible, ITeC

**Resumen:** Hasta hace bien poco, los datos sobre el consumo de energía de una obra solo correspondían al transporte y a la fabricación de los elementos que la integraban. Actualmente el impacto ambiental del consumo de energía es posible analizarlo para gran parte del ciclo de vida de los materiales y productos: durante la fabricación, la construcción y ahora también durante su uso. Este cambio de estructura en las bases de datos permite disponer de la información de nuevos indicadores de energía, que incluyan, además de los costes de adquisición de los productos o equipos, el coste del consumo de energía a lo largo de su vida útil. Han de definirse correctamente los perfiles de uso, para cada uno de esos elementos y de esta manera obtener valores de consumo, lo más detallados posible. No sólo se puede conocer el futuro coste de la Energía de dichos elementos sino también hacer análisis de sostenibilidad de nuestros proyectos.

**Palabras clave:** Energía, Bases de Datos, Consumo, Eficiencia, Elementos Constructivos

## ELEMENTOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA

### Introducción

La información ambiental que podemos incorporar en una obra está cambiando de estructura, de cantidad de datos y provocando un cambio de paradigma. Ahora es posible conocer el consumo real de energía de una obra de construcción y el coste total que supone para un usuario dicho consumo de Energía.

Hasta hace bien poco, los datos sobre el consumo de energía de una obra solo correspondían a la colocación y a la fabricación de los elementos que la integraban y también de su transporte. Hoy en día, el impacto ambiental del consumo de energía de los materiales y productos es posible analizarlo en una gran parte del ciclo de vida, hasta ahora, se realizaba durante la fabricación y la construcción y ahora también durante su uso.

Además de los cálculos energéticos que se realizan para el diseño de las instalaciones o la certificación energética, a través de la identificación de cada uno de los elementos de una obra (una tarea que se realiza durante la confección del presupuesto), es posible analizar el impacto energético futuro que va a suponer el proyecto en estudio.

El primer paso en este sentido es conocer el tipo de elemento a analizar y el mayor número de propiedades necesarias para calcular su consumo de Energía. Por ejemplo, si analizamos un elemento relacionado con la iluminación, como un fluorescente, con una potencia de 58W, podemos saber cuál será el consumo energético de este producto en todo su ciclo de vida basándonos en unos perfiles de uso predefinidos.

Del mismo modo, este cálculo, se realiza con elementos relacionados con la calefacción y refrigeración, aunque en estos casos no solo tendremos en cuenta la potencia del elemento y su vida útil, sino más información. Los elementos productores de calor y frío disponen de una información de potencia que no siempre refleja la cantidad de potencia calorífica o frigorífica que éstos generan. A partir de los rendimientos de producción de calor y frío contenidos en la información del elemento, podemos saber la cantidad de energía consumida por los distintos elementos según el perfil de uso predefinido que le aporta la situación geográfica de la obra.

Es importante conocer el protagonismo que los fabricantes pueden tener en este punto, ya que no sólo deberán suministrar la información relativa a los precios de sus artículos comerciales que consumen energía, sino también las propiedades necesarias, para que los modelos informáticos puedan aprovechar dicha información en el cálculo del futuro consumo de Energía.

Así pues, a la información sobre las propiedades de los elementos que ya se disponía en las bases de datos (al menos en la del ITeC), se le añade la creación de unos perfiles horarios que contemplan el uso, la ubicación, la situación geográfica, etc., para poder calcular el consumo de energía. La ubicación de un elemento consumidor y la tipología del edificio condicionará el consumo del elemento. El consumo de una luminaria fluorescente no será el mismo si ésta se sitúa en un pasillo de una vivienda o en un aula de una escuela ya que sus ubicaciones y tipologías de obra son

diferentes, en un futuro cercano, cuando aprovechemos al máximo, lo que nos ofrece el BIM (Building Information Modelling), el modelo informático detallará estos consumos diferentes. Del mismo modo ocurre con los elementos productores de calor y frío donde la situación geográfica condiciona la demanda energética del edificio. El consumo de una caldera no será el mismo si ésta se sitúa en Madrid o en Barcelona ya que sus zonas climáticas son distintas y esto obliga a que el número de horas necesarias para responder a la demanda sean diferentes. Gracias a la sistematización de los perfiles horarios y con el software adecuado, se puede calcular el consumo real de energía de los elementos que intervienen en un modelo simulado, actualmente, esto ya es posible a nivel de Edificio.

## Cambio de estructura en los datos

Este cambio de estructura y de paradigma abre muchas posibilidades en el futuro. En estos momentos, el ITeC ha transformado la estructura de un conjunto de propiedades de elementos en una base de datos inteligente. Como se ha dicho, hasta ahora, sólo se disponía de la información del consumo de energía del transporte, de la producción, el embebido en los elementos, pero en el futuro próximo esta nueva estructura permitirá obtener otro tipo de información.

Fue a principios del año 2015 cuando (gracias al cambio de estructura de la base de datos) el Instituto Catalán de Energía de la Generalitat de Cataluña (ICAEN) y el ITeC firmaron un convenio de colaboración para desarrollar y consolidar la aplicación de un indicador de eficiencia energética que permitiera aplicar en la base de datos de productos y equipos de construcción que gestiona el ITeC (BEDEC), éstos condicionantes. Ambas partes están comprometidas a trabajar conjuntamente para crear herramientas que potencien el ahorro, la eficiencia energética y las energías renovables en el sector de la construcción.

Para realizar el cálculo del indicador de eficiencia energética es necesaria la vinculación del consumo real de energía con la fuente energética del elemento consumidor en estudio. Esta fuente energética o combustible aportará su coste, su poder calorífico y sus datos ambientales relativos a su producción y su consumo. Con este tipo de indicador, el profesional, además de optimizar el coste inmediato de la construcción, también podrá calcular el coste diferido en función del consumo energético de la solución elegida y valorar las emisiones de gases de efecto invernadero (gracias a la relación del elemento con la fuente energética) de cualquier proyecto constructivo, sea edificación u obra civil. Además, esta vinculación con las diferentes fuentes energéticas o combustibles hace posible el cálculo de otros contaminantes locales, como los NOx, aplicándose a más de 6.000 productos o equipos habitualmente utilizados en la construcción.

En el momento en que esta información se integre en la metodología de trabajo colaborativo Building Information Modeling (BIM), podremos también coordinar y optimizar los diferentes elementos de una construcción en el decurso de todo su ciclo de vida para todas las zonas de un modelo.

El objetivo es avanzar hacia un modelo de **energía limpia** y facilitar el cumplimiento de las **directivas europeas**. Como se sabe ampliamente, se ha establecido que a partir del 1 de enero de 2019 todos los edificios públicos nuevos y los que sean renovados de forma importante tendrán que ser diseñados como edificios de consumo casi cero, es decir, un consumo energético óptimo y que compensen la práctica totalidad de su demanda con producción propia descentralizada de energía, integrando energías renovables en su diseño. En el sector privado en cambio, esta obligación se atrasa hasta el 1 de enero del 2021.

El trabajo desarrollado por ITeC y su colaboración con otras administraciones, ayuda a técnicos y prescriptores a acercarse al cumplimiento de estos objetivos, no sólo teniendo en cuenta los elementos que participan en la Certificación energética, relativos a sistemas de Clima, sino de todos los elementos que consumen energía en nuestras edificaciones, hasta el mínimo que sea, y por tanto hacer una valoración más real de lo que están consumiendo realmente. Todos aquellos elementos que se incorporen en el modelo simulado participarán en el cómputo de la energía consumida.

## Sostenibilidad Económica

Analicemos una de las explotaciones de la nueva estructura de datos, si conocemos el consumo de Energía durante el uso y conocemos el coste de los elementos durante su compra, podemos hacer análisis del coste de ciclo de Vida de un producto, servicio u obra de construcción.



El análisis del coste de ciclo de vida de un producto, servicio u obra permite conocer a lo largo del tiempo la evolución de los gastos, o ingresos, si es el caso, que nos va a dar ese determinado elemento, y por tanto saber cuál es su nivel de rentabilidad.

Se trata de tomar decisiones en el presente, teniendo en cuenta la información estimada de futuro.

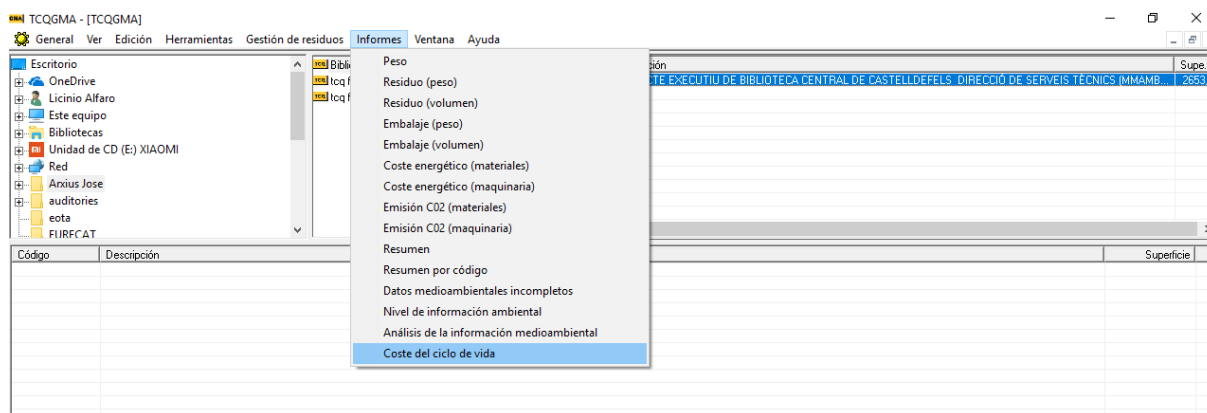


Figura 1. Selección del Costo de Ciclo de Vida.

Actualmente, el análisis del Coste de Ciclo de Vida, es posible en TCQGMA en las fases de fabricación y uso de los elementos consumidores energía, la información suministrada en el modelo informático ya contiene el precio de compra de dichos elementos, la cantidad de energía consumida, y se conoce el coste de dicha energía de forma anual, ya que se multiplica el consumo de energía por un coste del Kwh consumido, además, dado que se dispone de información de la durabilidad del elemento utilizado, se puede conocer cuál es su coste de adquisición repercutido por cada año de la vida útil de dicho elemento.

El TCQGMA, es el Software que actualmente incorpora la información ambiental en cualquier presupuesto realizado en TCQ, o bien, en cualquier formato estandarizado de transmisión de datos que se utilizan en la realización de presupuestos, como el formato \*.BC3, este Software se instala de manera gratuita, siempre que se disponga de una licencia de TCQ, y gestiona la información ambiental de las bases de datos con dicha información. Actualmente, es necesario que la estructura de la información se extienda de una manera tal, que los formatos de intercambio de datos, como \*.BC3 y otros entiendan toda la información que se puede extraer de los modelos simulados.

Los últimos años, sólo ha habido un interés por la información del coste económico o de características relativas a la calidad de los materiales, esta nueva información, éstas nuevas propiedades, deben asumirse de forma natural, y añadirse a la información económica de las Bases de datos, nos permite, refiriéndonos al Coste del Ciclo de Vida o, dicho de otra forma, a la sostenibilidad económica de un proyecto, que en la etapa de desarrollo de un producto o de realización de una obra de construcción, donde está siendo diseñada o construida, conozcamos su estado contable. Quizá sólo genere pérdidas, posteriormente en el lanzamiento del mismo o en su explotación, se generarán más costes que ingresos por los costes de marketing y de introducción del nuevo producto al mercado. Una vez ya lanzado o acabada la construcción, se espera que el producto llegue un momento que empiece a dar beneficios a la empresa y que estos superen a los costes de las etapas anteriores, o que, gracias a la explotación, el retorno económico de la construcción, lo veamos de forma clara en la cuenta de resultados.

Por último, cuando llega la etapa de madurez y el declive el producto, o los costes de mantenimiento sean excesivos, cada vez dará menos ingresos hasta que llegue un momento en el que deba ser renovado, retirarse, o ser deconstruido.

Esta gestión de la información nos va a permitir, conocer el consumo de energía, de todas estas partes del proceso, y el coste económico asociado, por tanto, vamos a poder tomar decisiones teniendo en cuenta todo el alcance de ciclo de vida de un proyecto, y no de forma parcial e inmediata, como se realiza hoy en día.

Estos datos, podrían permitir en un futuro, no sólo que se pueda conocer el coste de la energía consumida sino hacer estudios financieros, como el VAN, el TIR o el Payback, en las inversiones en el sector de la construcción respecto al consumo de Energía que estamos teniendo.

Para ello, será necesario ampliar el alcance de la información, no sólo a un precio de Euros por KW consumido, sino relacionándolo con el tipo de suministradora de energía con la que se tiene contratado el servicio, no hay que olvidar, que todos estos datos, deberán estar relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes, y la fase del uso, adquiere una gran importancia en este punto.

TCQGMA - [COSTE DEL CICLO DE VIDA]

General Ventana Ayuda

**COSTE DEL CICLO DE VIDA**

PROYECTE EXECUTIU DE BIBLIOTECA CENTRAL DE CASTELLDEFELS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	COSTO DE ADQUISICIÓN €	COSTO ENERGÉTICO ANUAL €/año	COSTO DE ADQUISICIÓN ANUAL €/año	CTU TOTAL €/año
001	PROYECTE EXECUTIU DE BIBLIOTECA CENTRAL DE CASTELL	-	5.134,21	16.459,47	342,27	16.801,73
<b>01.01.04.03.03</b>	<b>CLIMATITZACIO</b>	-	<b>5.062,16</b>	<b>16.372,84</b>	<b>337,48</b>	<b>16.710,32</b>
EE24A8LG	Caldera eléctrica de 220/400 V de tensión, de 20 kW	1,00	1.502,91	5.126,90	100,19	5.227,09
EE222GSH	Caldera de gas natural amb cremador atmosfèric, de	1,00	3.559,25	11.245,94	237,28	11.483,23
<b>01.02.04.01</b>	<b>Xarxa de sanejament</b>	-	<b>72,05</b>	<b>86,63</b>	<b>4,79</b>	<b>91,42</b>
EH110334	Llumenera decorativa monotub amb xassis d'alumini	1,00	72,05	86,63	4,79	91,42

Codi	U	Descripcio
01.01	-	EDIFICACIÓ
01.02	-	URBANITZACIÓ/OBRA CIVIL
01.05	-	SEGURETAT I SALUT

Figura 2. Información relativa al Coste del Ciclo de Vida.

## CONCLUSIONES

La digitalización de los proyectos ejecutivos está avanzando a pasos agigantados, el BIM (Building Information Modelling) es la cabeza visible de este cambio, pero realmente sacaremos partido a este proceso si se incorpora la máxima cantidad de información a los modelos simulados, este cambio, va a requerir una mayor profesionalización del técnico y que la información que se incorpore en dichos modelos, tenga rigor, sea contrastable y numerosa. Si el modelo no contiene todos estos ingredientes, será imposible, exprimir al máximo las ventajas que éste proceso de digitalización nos ofrece.

## REFERENCIAS

- <http://www.itec.es> (17 septiembre 2017)
- Alfaro L., Casademont. (2014) – New tool to identify environmental impacts on the construction works. BEDEC & TCQGMA WORLD SB14 Barcelona, October 28/30th 2014
- Košny J., Syed A. M. (2004) - Interactive Internet Based Building Envelope Materials Database for Whole Building Energy Simulation Programs - IX Conference Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, December 2004 Clearwater, Florida.

## EDIFICIO TITANIA DE CONSUMO NULO PASSIVHAUS PLUS

**Resumen Proyecto:** Primer edificio de consumo Nulo de Madrid capital y primera vivienda Pasiva de España con certificación Passivhaus Plus. Con una superficie construida de 457 m<sup>2</sup> y superficie útil de 280 m<sup>2</sup>, su construcción es mediante cimentación y estructura (losas de forjado) de hormigón armado y pilares metálicos. Su envolvente se desarrolla carente de puentes térmicos en continuidad mediante un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) sobre una fábrica cerámica de termoarcilla. Todo el SATE es revestido mediante pegado de Gres Porcelánico de grandes dimensiones NEOLITH de 3mm espesor. Este sistema para revestir se extiende por la cubierta produciendo un volumen contundente potenciando el volumen del edificio. Carpinterías de PVC de alta eficiencia energética KÖMMERLING MD76 con triple acristalamiento con control solar. Generación de Frío, Calor y ACS mediante Instalación de Aerotermia DAIKIN ALTHERMA de 6kW de potencia con emisión mediante Suelo Radiante Refrescante POLYTHERM Instalación de ventilación mecánica de doble flujo, del fabricante ZEHNDER que, mediante red de absorción de aire viciado e impulsión de aire fresco con recuperador de calor Zehnder ComfoAir450 HRV de alta eficiencia, permite tener un grado de ventilación y confort excelentes. Instalación fotovoltaica mediante sistema REC formado por 20 paneles policristalinos con un rendimiento anual del inversor de 8.255 kWh/a produciendo al año más energía eléctrica que la demandada.



Figura 1. Vivienda de Consumo Nulo "Titania".

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	c/ Santa Natalia 15 Madrid
Uso Característico Edificio:	Residencial
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	457,70 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Enero 2017. Fin de obra.
Otros:	Edificio de Consumo Nulo. Categoría Energética A. Certificado Passivhaus Plus

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Maqueda, Gallego y Álvarez S.A.
- Projectistas: Daniel Diedrich y Talia Dombriz, Arquitectos. DMDVA ARQUITECTOS
- Dirección Obra: Daniel Diedrich. Arquitecto. DMDVA ARQUITECTOS Dtor. de Obra.  
Juan Postigo Castellanos. Arquitecto Técnico. Dtor. de Ejecución.  
Pablo Pérez Muñoz. Arquitecto Técnico. Coord. Seguridad y Salud.
- Otros Técnicos Intervinientes: Consultoría Passivhaus: Daniel Diedrich. Arquitecto. CENERGETICA  
Certificador PH: Micheel Wassouf. Arquitecto. ENERGIEHAUS.  
Climatización: Jesús Soto. Ing. Industrial. ALTERTECHNICA
- Otros Agentes: Constructor: POSCON  
Sistema Constructivo Envolvente: MAPEI / POSCON  
Sistema Ventilación Mecánica: ZENHDER / ALTHECHNICA  
Sistema Climatización: DAIKIN / ALTERTECHNICA  
Carpinterías de la envolvente: KÖMMERLING / ON VENTANAS  
Sistema Fotovoltaico: REC / SIER

### Antecedentes

Tras recibir el encargo de realizar el proyecto y dirección de las obras de una vivienda unifamiliar de consumo casi nulo y ante la carencia de normativa técnica oficial sobre edificios de consumo energético casi nulo se acuerda someter el proyecto y la ejecución de las obras al estándar Passivhaus con tres objetivos fundamentales: Certificar el proceso y el edificio terminado, estudiar la viabilidad del estándar Passivhaus en el clima de Madrid y analizar los inconvenientes de construir el edificio sin salirse de los sistemas constructivos habituales en la promoción inmobiliaria para trasladar esta experiencia a un bloque residencial. La experiencia ha sido muy satisfactoria, el edificio ha obtenido la primera certificación “Passivhaus Plus” de España y es la primera vivienda de consumo nulo de la ciudad de Madrid, al producir más energía al año que la que consume. Tras esta experiencia proyectual y constructiva, a finales de 2017 comenzarán las obras del bloque residencial de Consumo Energético Casi Nulo.

### Descripción del Proyecto

Edificio Titania. Primera vivienda con certificación Passivhaus Plus de España, ubicada en la zona de la calle Arturo Soria de Madrid. Presenta una superficie útil (habitable) de 280 m<sup>2</sup>, sobre una parcela rectangular de 375 m<sup>2</sup>. La planta se limita al área edificable por normativa urbana y fachadas paralelas a los límites de la misma. Su cubierta es a dos aguas. Su azimut respecto al norte es de 4º respecto a las fachadas mayores. El programa es sencillo. Planta sótano de instalaciones y aparcamiento; planta baja, más pública, presenta cocina, salón comedor, baño y un dormitorio; planta primera con tres dormitorios y finalmente planta segunda, bajo cubierta, con dos salas de estar y un baño. Todos los dormitorios son dobles y cuentan con baño. Las plantas se comunican mediante una escalera metálica de dos tramos. La heterogeneidad tipológica del



Figura 2. Vivienda de Consumo Nulo “Titania”.

entorno donde se ubica, configurado por antiguas viviendas pequeñas del desarrollo de Arturo Soria que se mezcla con edificación de los años 60 y edificación de vivienda colectiva de nivel adquisitivo alto de finales de los 90, ofrecía la oportunidad de realizar un ejercicio formal sencillo pero contundente, alejado de mimetizarse con el lugar y que, por el contrario, pretende singularizar este edificio en su entorno con mínimas herramientas formales. Es por ello que el edificio se configura por un prisma paralelepípedo coronado por una cubierta a dos aguas donde el acabado superficial de la envolvente vertical (fachada) es el mismo que en la cubierta, en continuidad y sin alteraciones, potenciando la sencillez formal y rotundidad del prisma que lo forma. Esta solución formal sencilla además es

consecuente con los criterios y sistemas constructivos que la forman, basados en los preceptos de la arquitectura pasiva, donde el aislamiento de la envolvente se coloca en continuidad con el objetivo de eliminar los puentes térmicos. Será la continuidad del Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) la que proporciona una base para revestir de cerámica de espesor mínimo, tanto fachadas como cubierta.

El orden de huecos en fachada responde a dos retos contradictorios. El abordar un edificio de consumo casi nulo o nulo implica evitar los huecos como punto más débil de la envolvente. Esto se enfrenta a la respuesta arquitectónica, que da solución a la reducida dimensión de la parcela, que para una tipología de vivienda unifamiliar aislada suele generar espacios exteriores residuales en la misma, entre edificio y medianeras, por ejemplo. Para evitarlo se optó por dejar la planta baja acristalada en el 80% de su desarrollo de suelo a techo, (acristalamiento coincidente con acceso, salón comedor y cocina) con la finalidad de hacer partícipe del exterior al interior y permitir percibir cualquier punto exterior desde el interior de esta planta. En el resto de plantas, de la misma manera que la planta baja, no renuncia a la presencia de huecos de ventana, que se disponen de manera continua. Ambos retos, contradictorios, se abordaron mediante el diseño arquitectónico apoyado por cálculo correcto de los elementos que forman la misma en su globalidad, demostrando que se puede pensar en arquitectura con criterios de consumo nulo y que los condicionantes constructivos de estos criterios pueden ser ajustados al objetivo arquitectónico pretendido.

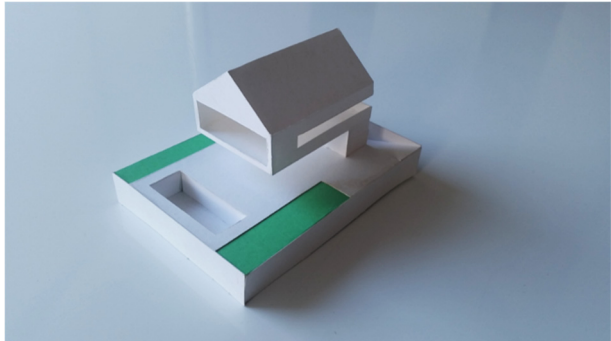


Figura 3. Maqueta conceptual.

## Prestaciones del Edificio

Edificio pasivo de consumo nulo, produce más energía al año que la que consume. Cuenta con una envolvente aislada en continuidad con carpinterías de PVC de alta eficiencia y vidrios con control solar además de estar libre de puentes térmicos. Además, en la envolvente se ha cuidado los detalles constructivos y su ejecución para lograr el mayor grado de hermeticidad del espacio habitable y reducir sus pérdidas por infiltración de aire logrando obtener 0,36 renovaciones hora en prueba de Blower Door a 50 Pascales.

Cuenta con instalación de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor de alta eficiencia, climatización (frío y calor) y generación de ACS mediante sistema de aerotermia con emisor mediante suelo radiante/refrescante, así como activación de los faldones de cubierta mediante este mismo sistema. A parte del sistema de aerotermia, como sistema de energía renovable cuenta con instalación fotovoltaica para la generación de electricidad. Estas instalaciones proporcionan un grado de confort interior muy elevado.

La reducción máxima de la demanda energética, conseguida mediante la modelización de los sistemas constructivos pasivos en toda la envolvente térmica, y la combinación de un sistema de aerotermia, con una eficiencia muy elevada, junto a un sistema de generación de electricidad mediante una instalación fotovoltaica, permite obtener una vivienda de consumo energético nulo (produce más energía al año de la que consume).

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

El edificio cuenta con cimentación mediante losa, zapatas corridas y muros de sótano de hormigón armado. La estructura se ha realizado mediante pilares metálicos con forjados y faldones de cubierta mediante uso de losa de hormigón armado. Aislamiento inferior de la cimentación mediante paneles de fibra de vidrio FOAMGLAS de 12 cm de espesor, aislamiento del resto de elementos de cimentación en contacto con el terreno mediante paneles de XPS de 20 cm de espesor. La elección del aislamiento bajo la cimentación cumple las solicitaciones estructurales y la normativa de deformación instantánea y a 50 años (resiliencia). Parte del edificio se soporta mediante apoyo sobre la losa de hormigón armado que cubre el aparcamiento, siendo todos los cerramientos estructurales que lo configuran aislados por ambas caras, con la finalidad de evitar el gran puente térmico que representa.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

### Configuración de la envolvente

La fachada está formada por una lámina de termoarcilla de 14 cm de espesor, enfoscada por el exterior, sobre la que se dispone un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) formado por paneles de EPS con Neopor de 15 cm de espesor, en continuidad con el aislamiento vertical proveniente de los muros de cimentación. Sobre el EPS se dispone un revestimiento cerámico NEOLITH Artic White de THE SIZE que cuenta con tan solo 3 mm de espesor y que es adherido al soporte (SATE) mediante morteros mono componentes cementosos y malla de fibra de vidrio del sistema TILE SYSTEM de MAPEI. El trasdosado interior de la fachada se realiza mediante un guarnecido de yeso como lámina de estanqueidad al paso del aire y sistema PLACO SAINT GOBAIN de Placa de Yeso Laminado autoportante con lana de roca de 40 mm a efectos de aislamiento de ruido. Las transmitancias térmicas obtenidas son de 0,175 w/m<sup>2</sup>K para la fachada y de 0,145W/m<sup>2</sup>K para la cubierta. La cubierta se configura de manera similar a la fachada mediante el uso de paneles XPS de 24 cm de espesor instalados sobre las losas de hormigón que las forman. Sobre este aislamiento se revoca con morteros mono componentes cementosos y malla de fibra de vidrio al igual que el sistema de fachada. La impermeabilización se realiza con mortero bicomponente MAPELASTIC SMART de MAPEI sobre el que se dispone en continuidad con fachada el revestimiento de gres porcelánico adherido de la misma manera que en las fachadas.

### Carpinterías de la envolvente

Las carpinterías de las fachadas han sido realizadas con perfilaría de PVC de KÖMMERLING modelo MD76, que cuenta con una transmitancia térmica: 1,2 W/m<sup>2</sup>K, una atenuación Acústica: 48 y permeabilidad al aire Clase 4. Cuenta con vidrio con sustrato nrG de triple acristalamiento 4+4/12Arg/4/12Arg/4+4 con una transmitancia de 0,8 W/m<sup>2</sup>K y un factor solar de 62,1%. La combinación de ambos elementos proporciona una transmitancia media de todas las ventanas de 1,14 W/m<sup>2</sup>K. Lucernarios-ventana de cubierta de FAKRO FTT U-6 con acristalamiento triple 6H-Tg18Ar-4HT2-Tg18Ar-33.2T3 que proporciona una transmitancia de ventana instalada de 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Puerta de acceso al garaje acorazada DIERRE SYNERGY SENTRY con una transmitancia térmica de 1,4 W/m<sup>2</sup>K.



Figura 4. Aislamiento de Cimentación.



Figura 5. El 80% de la envolvente en planta baja realizado con carpinterías de PVC Kömmerling MD76.

### Protecciones solares

Instalación de cortinas exteriores enrollables de la marca BANDALUX con cajón exterior, cierre lateral de cremallera y sistema motorizado SOMFY. Cuenta con accionamiento digitalizado y automatizado dentro del sistema de control KNX de la vivienda

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### Calefacción, refrigeración y ACS

La calefacción, refrigeración y la generación de ACS se realiza mediante equipos de aerotermia DAIKIN Altherma, con uso de suelo radiante – refrescante, del fabricante POLYTHERM, como emisor de calor y frío. El suelo radiante-refrescante permitió crear una cubierta termo activa, desarrollando esta instalación en las losas de hormigón que forman los faldones de cubierta, como medida contra el sobrecalentamiento solar de la misma durante los meses de verano

### Ventilación

El edificio cuenta con instalación de ventilación mecánica de doble flujo. La totalidad de sus componentes son del fabricante ZEHNDER. Formada mediante red de absorción de aire viciado e impulsión de aire fresco realizadas mediante tubo continuo Zehnder, desde cada una de las rejillas del sistema al recuperador de calor de alta eficiencia ComfoAir Q450 HRV. Aparato con una eficiencia térmica del 83%, permite tener un grado de ventilación y confort interiores excelentes.

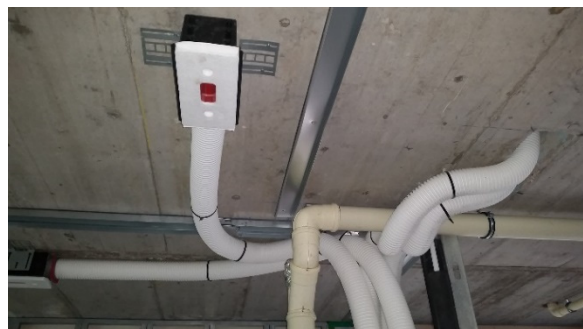


Figura 6. Sistema de Ventilación mecánica Zehnder.

### Iluminación

Luminarias CASTAN en espacios exteriores e interiores de paso (pasillos, escaleras, baños y distribuidores) con luminarias LED de bajo consumo.

### **Automatización y Control**

Sistema JUNG KNX con control domótico de la iluminación, de la climatización y de las protecciones solares cuenta con centralita meteorológica y telecontrol exterior mediante programa informático.

### **Hermeticidad**

Sistema de hermeticidad formado por un guarnecido de yeso por la cara interior de todos los paramentos verticales de la envolvente realizados en fábrica de termoarcilla junto con la utilización de bandas de estanqueidad en los encuentros entre paramentos verticales y forjados, así como el uso de cintas precomprimidas entre fábrica portante, precercos de ventana y ventanas, de la marca ISO-CHEMIE

Tras realizar el ensayo de hermeticidad (Blower Door test) con el edificio terminado, se ha obtenido una tasa de renovación de aire a 50 Pascales de 0,36 renovaciones/hora. Este ensayo se ha realizado en tres fases de obra distintas junto con estudio termográfico y con la finalidad de controlar la ejecución de la envolvente y su hermeticidad. De esta manera se obtiene un edificio sin puentes térmicos y con casi nulas infiltraciones de aire.

## **Energías Renovables in situ o en el entorno**

### **Fotovoltaica**

Instalación fotovoltaica del REC formada por 20 paneles policristalinos REC 255Wp y un inversor monofásico Sunny Boy 5000TL-21, de 5,0 kW con una eficiencia del 97% que proporciona rendimiento anual de 8.225 kWh/a frente a un consumo eléctrico total de 7.110 kWh/a, (Conforme al programa de cálculo de instalaciones fotovoltaicas PVsyst).



*Figura 7. Instalación fotovoltaica en cubierta Sur.*

### **Aeroterminia**

Sistema de Aeroterminia DAIKIN ALTHERMA formado por una unidad exterior ERLQ008CV3 y una unidad interior EHBX08C9W que cuenta con un depósito de ACS de 260 litros. El sistema proporciona una potencia nominal de 7,40 kW. El criterio para elegir el modelo fue la potencia del mismo y su capacidad de acumulación de ACS, dado el número elevado de baños de la vivienda.





Figura 8. Instalación sistema de refrigeración en losa de cubierta. "Bóveda activa".

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de ejecución material y su valoración final es de 595.323,00 euros y coste por metro cuadrado construido ha sido de 1.302€/m<sup>2</sup>. Al ser de reciente construcción y uso, no se ha podido establecer un histórico de consumo real, además la instalación fotovoltaica ha contado con permiso de conexión por la compañía eléctrica en septiembre de 2017. Pese a ello y sin tener conectada la generación de electricidad, la totalidad del consumo eléctrico mensual de la vivienda entre enero y agosto de este año han sido alrededor de 50 € / mes.

De acuerdo al Real Decreto 900/2015, la vivienda está exenta de canon por su instalación fotovoltaica ya que la potencia contratada es inferior a 10 kW. De acuerdo a esta ley, la energía que tenga de excedente será vertida a la red sin contraprestación económica estando el edificio a la espera de una ley de balance neto.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Este objetivo se ha logrado mediante la combinación de: A) Una gran reducción de la demanda, mediante el proyecto y construcción de medidas pasivas extremas consistentes en un súper aislamiento en la envolvente, reducción y control de los puentes térmicos y de las infiltraciones de aire. B) Un correcto diseño de las protecciones solares, tanto en su tipo como en su comportamiento. C) Contar con una instalación de aerotermia para dar servicio a la climatización (verano e invierno) y la generación ACS, lo que garantiza un rendimiento de la instalación muy elevado. D) La construcción de una instalación de generación de energía eléctrica que cubre la demanda anual de electricidad.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	-1,81 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	7,33 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	10,25 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	8000 kWh/año (fotovoltaica)
Emisiones CO2 Edificio:	-0,32 KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

Con los valores anteriores el edificio ha obtenido una Certificación Energética de edificio terminado con la letra A. Se comprueba el cumplimiento del CTE DB-HE Ahorro de Energía mediante la realización de la Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) y mediante la comprobación del cumplimiento de inexistencia de condensaciones intersticiales. Con HULC obtenemos tanto el valor límite para la demanda energética de calefacción según el apartado 2.2.1.1.1 de la sección HE1 como el Valor límite para la demanda energética de refrigeración según el apartado 2.2.1.1.1. de la sección HE1 y los valores obtenidos para el edificio. El edificio finalizado el enero de 2017, cuenta con certificación Passivhaus Plus desde abril de 2017.



*Figura 9. Encuentro fachadas cubiertas en continuidad.*

# EJECUCIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO DE CLIMA MEDITERRÁNEO EN EL BARRIO DEL CABANYAL DE VALENCIA

**Resumen Proyecto:** En este proyecto hemos diseñado una vivienda teniendo en cuenta en todos sus aspectos la finalidad de conseguir el mínimo consumo energético. Hemos elegido un sistema constructivo que da el máximo aislamiento térmico y elimina los puentes térmicos. Añadimos una carpintería exterior de alta eficiencia energética. No se ha podido mejorar la orientación del edificio por ser entre medianeras. Con todo esto, y otros aspectos más, hemos conseguido minimizar la demanda energética de la construcción. En cuanto a los equipos de producción térmica hemos optado por combinar la climatización con la ventilación. Con la escasa demanda energética es suficiente con añadir calor o frío al aire de ventilación para mantener las condiciones de confort. Por ello se han elegido sistemas renovables de muy baja temperatura como el pozo canadiense y el panel solar de aire caliente. Para el agua caliente sanitaria se ha optado por un sistema de bomba de calor con aprovechamiento solar (termodinámica).



Figura 1. Infografía del interior de la vivienda a patio inglés.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	C/ Escalante, 115 – El Cabanyal (Valencia)
Uso Característico Edificio:	Vivienda unifamiliar entre medianeras
Zona Climática:	B3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva
Superficie Total Construida:	131,70 m2 de vivienda y 14 m2 de trastero
Fase del Proyecto:	Ejecución de estructura y envolvente

## MEMORIA DESCRIPTIVA

Se describe a continuación los datos generales del proyecto.

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Ana Hontangas López
- Projectistas: Buj&Cuadron arquitectes
- Dirección Obra: Buj&Cuadron arquitectes

- Otros Técnicos Intervinientes: Vicente Gregori Castellano (Simulación energética), Miguel Ballesta Tortosa (Ingeniería renovables)
- Otros Agentes:
  - o Ingeniería: Komfort Green Technology
  - o Constructora Baupanel: Roconsa obras y reformas
  - o Dirección de proyecto: Cala Llarga construcción & rehabilitación

## Antecedentes

### Forma, topografía, superficies y lindes:

La parcela es en forma de L de aproximadamente 78 m<sup>2</sup>

Es una parcela entre medianeras con edificaciones en tres de sus lados y fachada a la calle Escalante.

### Características del entorno:

El entorno se encuentra consolidado, correspondiendo con un barrio tradicional como el del Cabanyal con edificaciones antiguas en tres de sus lados, y dando fachada a la calle Escalante, que es un vial de 6.50 m de anchura, aproximadamente, con edificios antiguos de planta baja más dos alturas, y algunos de nueva creación de cinco alturas.

### Características y situación de las instalaciones urbanas existentes

La parcela dispone de las instalaciones urbanas necesarias para la construcción del edificio, en concreto:

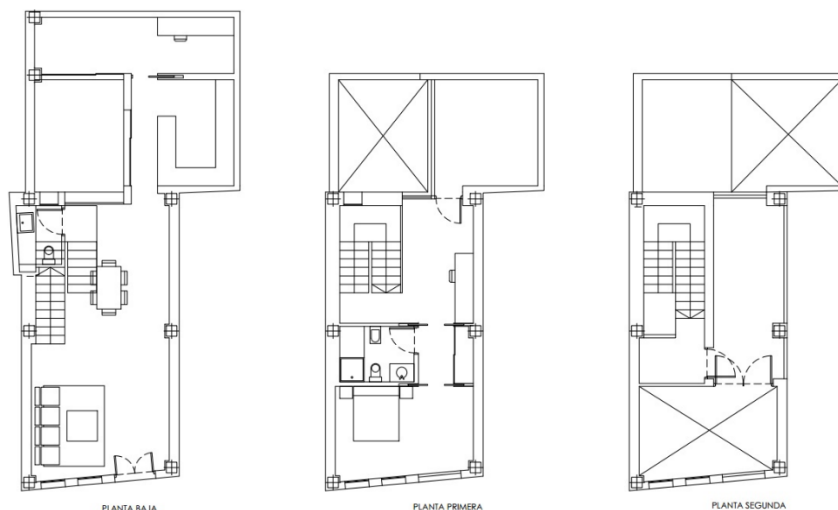
- Pavimentación de aceras y calzadas
- Red de abastecimiento de agua
- Red de suministro urbano de electricidad
- Red de alcantarillado
- Alumbrado público
- Telefónica y telecomunicaciones

## Descripción del Proyecto

Solución adoptada: La vivienda es de un dormitorio con vestidor, un estudio, dos cuartos de baño, cocina, salón comedor, trastero y patio.

Programa de necesidades y programa funcional: Se desarrolla en los planos y en la memoria del proyecto de ejecución.

Plantas:



Cuadro de superficies:

				Superficie útil (m2)	Superficie construida (m2)
Superficies y estancias sobre los 75m2 de parcela de la propiedad	Planta baja	Interior	Salón-comedor	40,26	64,80
			Cocina	11,80	
			Aseo	2,70	
		Exterior	Patio	12,50	
	Planta primera	Interior	Dormitorio	13,85	49,60
			Vestidor	3,65	
			Baño	4,95	
			Estudio	9,75	
		Exterior	Escalera	9,10	
	Planta segunda	Interior	Escalera	13,30	17,30
		Exterior	Terraza 2	14,35	
	TOTALES	Interior		<b>109,36</b>	<b>131,70</b>
Exterior			<b>39,00</b>		
Superficies y estancias sobre los 14m2 de uso y disfrute de la propiedad trasera	Planta baja	Interior	Taller	11,50	14,00

## Prestaciones del Edificio

Se desarrollan en la memoria del proyecto de ejecución referente a los apartados del CTE:

- Seguridad estructural (DB SE)
- Seguridad en caso de incendio (DB SI)
- Seguridad de utilización y accesibilidad (DB SUA)
- Salubridad (DB HS)
- Protección frente al ruido (DB HR)
- Ahorro de energía y aislamiento térmico (DB HE)

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

Se describe a continuación los diferentes aspectos del edificio.

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

- Cimentación: Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa, y acero UNE-EN 10080 B 500 S; acabado superficial liso mediante regla vibrante, cubierto con un film de polietileno de 0,2 mm de espesor
- Sistema estructural: La estructura portante se realizará con el sistema de muros portantes y aislantes BAUPANEL. BAUPANEL es un sistema constructivo integral, sismo resistente y aislante termo-acústico basado en un conjunto de paneles estructurales.
- Cada elemento está constituido por una estructura 3D en acero de alta resistencia conformada por dos mallas planas fuertemente interconectadas por múltiples barras perpendiculares.
- El espacio que queda entre las mallas de acero es ocupado por una placa de aislante de poliestireno de 140 mm de espesor en fachadas y 200 mm en cubiertas.
- El conjunto se completa en obra mediante la aplicación de dos capas de micro hormigón de espesor predeterminado ya sea por proyección neumática o por vertido en encofrados.
- Baupanel da cumplimiento de las normativas EHE y CTE, y además posee el documento de idoneidad técnica DIT 558R-17, concedido por el instituto de Ciencias de la construcción Eduardo Torroja.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

- Fachadas: Sistema integral Baupanel
- Azoteas: Cubierta plana transitable, no ventilada, con solado fijo, tipo invertida, compuesta de: formación de pendientes: impermeabilización bicapa adherida: lámina de betún modificado con elastómero SBS, LBM(SBS)-30-FV, colocada con emulsión asfáltica aniónica con cargas tipo EB, y lámina de betún modificado con elastómero SBS, LBM(SBS)-30- FP adherida a la anterior con soplete, sin coincidir sus juntas; capa separadora bajo aislamiento: geotextil no tejido compuesto por fibras de poliéster unidas por agujeteado; baldosas de gres rústico 4/3/-/E, 20x20 cm colocadas en capa fina con adhesivo cementoso normal, C1 gris, sobre capa de regularización de mortero de cemento, industrial, M-5, rejuntadas con mortero de juntas cementoso, CG2.
- Huecos: Ventanas y puertas de PVC en diferentes acabados con una transmitancia térmica de  $\lambda=1.3 \text{ kW/m}^2\text{año}$
- Soleras: Solera ventilada de módulos de polipropileno
- Acabados: Los acabados de la vivienda serán de aplacado de yeso laminado en el interior de la vivienda y de mortero monocapa en el exterior de la vivienda.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

Se han buscado los sistemas más eficientes energéticamente para perseguir el mínimo consumo.

### **Calefacción**

Funcionará en conjunción con la ventilación. Aportaremos energía mediante panel solar de aire caliente y mediante el pozo canadiense. Se recuperará el calor del aire de expulsión de la ventilación. Terminará de aportar, en caso de faltar algo de energía, la bomba de calor de alta eficiencia.

### **Refrigeración**

Funcionará en conjunción con la ventilación. Aportaremos frigorías mediante el pozo canadiense. Se recuperará el frío del aire de expulsión de la ventilación. Terminará de aportar, en caso de faltar frigorías, la bomba de calor de alta eficiencia.

### **Ventilación**

El aire aportado se tomará del sistema que más convenga entre el panel solar de aire, el pozo canadiense o directamente del exterior. Se repartirá el aire por la vivienda que además de ventilar servirá de calefacción o refrigeración. Se recuperará la energía del aire expulsado.

### **Iluminación**

La iluminación será mediante leds. Se ha buscado el mínimo consumo sin reducir el nivel de confort.

### **Automatización y Control**

La centralita controlará todos los sistemas en combinación para conseguir el confort térmico, de humedad y de calidad del aire.

### **Deshumectación**

En toda vivienda, sobre todo si es bastante hermética, se genera exceso de humedad. Como elementos de deshumectación tenemos la ventilación de doble flujo y la bomba de calor de alta eficiencia.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

Todos los sistemas son de fuentes renovables. Panel solar de aire caliente, pozo canadiense, panel termodinámico y bomba de calor de alta eficiencia.

### **Tipos Energías Renovables**

Panel solar de aire caliente: toma aire exterior y lo calienta mediante radiación solar.

Pozo Canadiense: toma aire exterior y lo atempera a la temperatura del suelo mediante intercambiador aire-tierra. En este caso está instalado por debajo del nivel freático, lo que aumenta su potencia.

Panel termodinámico: aumenta la eficiencia de la bomba de calor añadiendo como fuente de energía la radiación solar, y el calor de la lluvia y nieve, y elimina el consumo de ventiladores.

Bomba de calor de alta eficiencia: tiene como fuente de energía el calor del aire ambiente.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de la vivienda totalmente acabada es de 144.973,02 €, según la siguiente distribución por capítulos:

	CAPÍTULO	IMPORTE
1	Acondicionamiento del terreno	2.313,02 €
2	Cimentaciones	9.734,88 €
3	Estructura y envolvente	40.923,26 €
4	Albañilería	7.435,01 €
5	Cubiertas	4.658,23 €
6	Eléctricas	7.928,84 €
7	Fontanería	2.440,00 €
8	Instalaciones térmicas	20.693,64 €
9	Carpintería metálica	20.646,88 €
10	Carpintería de madera	259,04 €
11	Revestimientos	18.325,00 €
12	Señalización y equipamiento	5.523,14 €
13	Control de calidad y ensayos	1.429,58 €
14	Seguridad y salud	1.875,00 €
15	Gestión de residuos	787,50 €
	<b>TOTAL</b>	<b>144.973,02 €</b>

Por la tipología de vivienda y atendiendo a los costes actuales de construcción se valora el proyecto como viable ya que contempla una superficie construida de 145,70 m<sup>2</sup> por lo que el coste es inferior a 1.000 €/m<sup>2</sup>.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Se describen a continuación los indicadores de consumo y demanda.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	12.68 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	3.24 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	11.92 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	
Emisiones CO2 Edificio:	2.23 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
Otros (indicar): Consumo energía primaria no renovable	12.68 kWh/m <sup>2</sup> año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

Se califica energéticamente el edificio mediante el programa HULC, el resultado se aporta como ANEXO I

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 2. Bomba de calor con panel termodinámico para ACS.

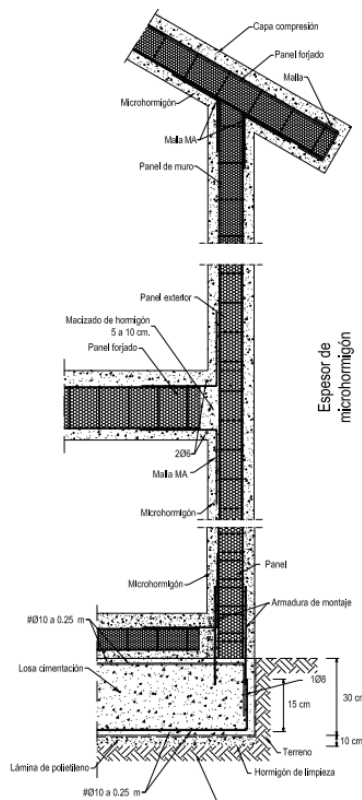


Figura 3. Sección sistema integral Baupanel. Figura 4. Panel solar de aire caliente.



ANEXO I

CALIFICACION ENERGETICA DEL EDIFICIO

Zona climática	B3	Uso	CertificacionVerificacionNuevo
----------------	----	-----	--------------------------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	2.23 A			
	<b>CALEFACCIÓN</b> Emisiones calefacción (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)		<b>ACS</b> Emisiones ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	
0,60		A	0,11	
		<b>REFRIGERACIÓN</b> Emisiones refrigeración (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)		<b>ILUMINACIÓN</b> Emisiones iluminación (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
Emisiones globales (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año) <sup>1</sup>		1,52		-

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .año	kgCO <sub>2</sub> /año
Emisiones CO2 por consumo eléctrico	1,81	369,31
Emisiones CO2 por combustibles fósiles	0,42	85,58

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES			
	12.68 A			
	<b>CALEFACCIÓN</b> Energía primaria no renovable calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)		<b>ACS</b> Energía primaria no renovable ACS (kWh/m <sup>2</sup> año)	
3,07		A	0,62	
		<b>REFRIGERACIÓN</b> Energía primaria no renovable refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)		<b>ILUMINACIÓN</b> Energía primaria no renovable iluminación (kWh/m <sup>2</sup> año)
Consumo global de energía primaria no renovable (kWh/m <sup>2</sup> año) <sup>1</sup>		8,99		-

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)

<sup>1</sup>El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales.

## ANTIGUO MERCADO DE FRUTAS Y VERDURAS (UNA REHABILITACIÓN A ESCALA URBANA)

**Resumen Proyecto:** Se ha proyectado una intervención sobre un edificio protegido como patrimonio arquitectónico, contemplando el carácter y escala de infraestructura urbana del edificio en la ciudad de Madrid. Se ha dotado al edificio de una instalación de paneles fotovoltaicos incorporados a la cubierta, que abastecen la demanda de energía eléctrica en su consumo base. La demanda de frío y calor para la refrigeración del edificio se resuelve inicialmente con una instalación de bombas de calor condensadas por agua asociadas a la geotermia de baja entalpía, y se complementa con la conexión a la red general del anillo energético del Matadero. Se ha previsto que se pueda ceder energía al anillo de agua para refrigeración del Matadero en los casos en los que la demanda del edificio sea menor a la generada.



Figura 1. Vista aérea del conjunto en maqueta.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Plaza de Legazpi, en la ciudad de Madrid.
Uso Característico Edificio:	Administración y dotacional
Zona Climática:	Madrid, zona D3 según CTE DB HE apéndice B
Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación
Superficie Total Construida:	39.650 m <sup>2</sup> administración y dotacional (sobre rasante) + 10.205 m <sup>2</sup> aparcamiento y salas técnicas (bajo rasante)
Fase del Proyecto:	Obra en contratación

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Ayuntamiento de Madrid, Área de Economía y Hacienda, D. G. de Patrimonio
- Projectistas: PesqueraUlarguiarquitectos
- Dirección Obra: Cleto Barreiro y Jimena Robles (D.G. Patrimonio) y PesqueraUlarguiarquitectos
- Otros Agentes: JG Ingenieros, Eutecaproyectos y estructuras, JoaquínAntuña (UPM), B&V aparejadores, Local4 Paisajismo y CGM telecomunicaciones

### Antecedentes

El proyecto es una Adaptación del proyecto de rehabilitación desarrollado entre los años 2009-11, fruto del proyecto ganador del concurso de ideas convocado por el Ayuntamiento de Madrid en 2007. Dicho proyecto de rehabilitación para uso administrativo municipal se retoma en 2015-6 para recuperar este patrimonio municipal que combine el uso administrativo previsto con nuevas demandas dotacionales. Como consecuencia de ello se redacta esta Adaptación del Proyecto de rehabilitación en 2016-17.

### Descripción del Proyecto

El proyecto se estructura en torno a las siguientes ideas principales:

El mercado abierto a la ciudad: el proyecto trata de mediar entre las diferentes partes de la ciudad que surgen al norte, sur, este y oeste con seis entradas que se abren a las tres orientaciones del edificio y se suman a la principal, sobre la Plaza de Legazpi.

Una única construcción para siete edificios: sobre el antiguo mercado se concentra la totalidad del nuevo programa solicitado. Fruto de la estrategia de creación de los seis nuevos pasos que atraviesan el antiguo edificio, el mercado queda dividido en siete partes que distribuyen el programa.

El patio como espacio de encuentro: se propone crear un espacio verde público que se convierta en cruce de todos los recorridos que se generan de uno a otro pasaje y que permiten atravesar el edificio en recorridos que unen una con otra parte de la ciudad. El espacio es concebido como un jardín, con zonas estanciales de diferentes tamaños para el descanso y el encuentro. Las fachadas del patio se disponen continuas y sin ningún tipo de interrupción. El patio se entiende así como un espacio libre e independiente de los usos que se generan en sus tres lados.

Diseño de las fachadas: aceptando la composición del mercado desde su origen, se propone sustituir los muros de ladrillos ciegos, por una nueva fachada que se adecue las necesidades como espacio de trabajo. La calidad ambiental de un espacio de oficinas moderno requiere del uso de luz natural, filtrada y difusa. Dada la geometría del mercado, con fachadas se separan 35m, esta necesidad de aprovechamiento de las fachadas exteriores se hace todavía más necesaria. A su vez, el diseño de estos nuevos cerramientos facilita un elevado nivel de aislamiento térmico al edificio, con soluciones que cumplen los estándares más exigentes. Así, se disminuyen al máximo las superficies transparentes, convertidas en unos huecos apaisados profundos. El resto de la fachada está compuesto por un tramo ciego en la parte inferior y lamas cerámicas en la parte superior. La primera permite alojar una red de ventilosconvectores. La segunda introduce luz difusa al plano interior. El uso de elementos cerámicos, tanto en la parte superior como en la inferior, pretende respetar la memoria del pasado del edificio, manteniéndose tanto el color como la esencia del material que sigue predominando en la mayor parte de la superficie del mercado.

### Prestaciones del Edificio

El Proyecto se adapta a las exigencias básicas del Código Técnico de la Edificación. Son requisitos básicos conforme a la CTE, los relativos a la funcionalidad, seguridad, salubridad, ruidos, y ahorro de energía. Se establecen estos requisitos con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de los usuarios y la protección del medio ambiente. El proyecto, la construcción y la adecuada conservación del edificio deben satisfacer estos requisitos básicos.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

El edificio se ha diseñado con el objetivo de que se reduzca la demanda energética del mismo y la producción de energía sea la más eficiente, entorno a los siguientes conceptos:

- Estudio de la envolvente térmica del edificio de forma que se reduzcan las demandas de calefacción y de refrigeración.
- Conexión alanillo energético existente en Matadero de Madrid de forma que la producción complementaria de frío y calor se realice mediante máquinas que proporcionan el máximo rendimiento.
- Estudio de los vidrios utilizados de forma que, reduciendo las demandas de calefacción y de refrigeración, se logre la máxima cantidad de iluminación natural y se minimice la demanda energética de iluminación.
- Uso de luminarias de diodos ("LED" en inglés) que permiten grandes reducciones en el consumo energético de iluminación.

De esta forma se han conseguido reducir al mínimo posible (teniendo en cuenta las limitaciones que impone el que se trate de la rehabilitación de un edificio existente) los consumos energéticos del edificio.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Justificación de las características del suelo y parámetros a considerar para el cálculo de la parte del sistema estructural correspondiente a la cimentación.

Para el análisis de las solicitaciones producidas en la estructura se ha seguido el método de la generación de modelos combinados de barras y elementos superficiales, formulados estos últimos mediante el Método de los Elementos finitos. De este modo, en análisis elástico, se ha comprobado el dimensionado con consideración de agotamiento en rotura de las secciones de hormigón armado y de variación lineal de las tensiones normales en las secciones de acero, con el efecto de la inestabilidad por pandeo de los elementos comprimidos. Para las cimentaciones, se han tomado las reacciones de las estructuras sobre los elementos de apoyo, que se han dimensionado en rotura para la resistencia y por comprobación de la tensión admisible en el terreno.

Las verificaciones seguidas son las habituales de ELU y ELS de la instrucción EHE para los elementos de hormigón armado. Para los elementos metálicos se han seguido las prescripciones de NBE EA 95, en régimen elástico. Para los elementos de madera se ha seguido lo prescrito en la parte EM del CTE, a falta de otra normativa. Además, en todos los casos se han considerado las prescripciones del CTE y las recomendaciones de los Eurocódigos, si bien éstos últimos no son de obligado cumplimiento. Se ha considerado las acciones que actúan sobre el edificio soportado según la norma NBE-AE-88 y la parte de acciones del CTE.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

El programa Herramienta Unificada Lider-Calener demanda la creación de una base de datos para crear los cerramientos de los mismos materiales que el proyecto en estudio. Por ello se han usado los materiales ya presentes en la base del programa, completados con el panel aislante de 25 cm empleado en la cubierta.

Cerramientos	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Factor solar
<i>Cerramientos verticales exteriores</i>	0,38	-
<i>Cerramientos en contacto con terreno</i>	0,38	-
<i>Particiones interiores</i>	0,77	-
<i>Suelos</i>	3,48	-
<i>Cubierta inclinada</i>	0,21	
<i>Cubierta bajo huerto</i>	0,36	
<i>Cristales</i>	1,0	0,51
<i>Lucernarios</i>	1,0	0,51

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

El sistema de climatización consiste en unidades de tratamiento de aire mediante circuito de agua a cuatro tubos, ya que puede proporcionar frío y calor de forma simultánea a los distintos espacios.

De forma general, la selección del nivel de confort en cada estancia se realiza de forma centralizada para las zonas comunes, y con controles locales en los espacios cerrados con ocupación habitual (despachos, salas de reuniones, etc.).

Mediante el sistema de climatización se cumplen las exigencias de bienestar e higiene según se indica en el RITE: Los requerimientos de calidad térmica del ambiente (IT 1.1.4.1), de calidad de aire interior (IT 1.1.4.2.), de calidad acústica (IT 1.1.4.3.), y de exigencia de higiene (IT 1.1.4.4.).

### **EQUIPOS DE PRODUCCIÓN**

La producción de agua fría y caliente consiste en la conexión de la instalación a un servicio externo de climatización urbana (“district heating + cooling” en inglés) existente en Matadero por el trazado señalado en la imagen 1; con apoyo de unidades bomba de calor con condensación sobre pozos de geotermia, y funcionamiento con inversión de ciclo. El sistema de producción de agua fría y caliente para climatización se ha seleccionado atendiendo a los siguientes criterios:

- El sistema proyectado externaliza el servicio de climatización, lo cual supone un ahorro en mantenimiento y reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la gran eficiencia energética de la central de producción urbana. Las necesidades térmicas globales del edificio son 4.035 kW para refrigeración y 3.743 kW para calefacción.
- El apoyo de geotermia proyectado ofrece una gran eficiencia energética del equipo de producción, combinado con la sostenibilidad para el medioambiente que supone la condensación sobre agua freática/subsuelo. Se equiparán dos bombas de calor de 230 kW de potencia frigorífica, y 47 kW de consumo eléctrico.

### **EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN**

La distribución de agua consiste en varios circuitos a cuatro tubos (fría y caliente) que permite un suministro simultáneo a todas las unidades terminales de tratamiento de aire. Las válvulas de control de los equipos son de dos vías de acción proporcional o todo-nada (según el equipo), y por tanto el caudal de agua será variable. De esta manera se logra el máximo ahorro de energía debido a la simultaneidad de la carga.

Se ha diseñado un sistema desacoplado entre primario (caudal constante) y secundario (caudal variable), dado que los equipos de producción pueden modular la carga. Los equipos de distribución de agua (electrobombas, colectores, depósitos de inercia y de expansión) se instalan en un recinto propio situado en la planta sótano 2 del edificio.

### **Ventilación**

Los sistemas de tratamiento de aire están constituidos por el conjunto de climatizadores y ventiloconvectores, así como las redes de conductos y tuberías que conectan estos equipos al sistema de generación de frío y calor. Para climatizar la Sala Multiusos del sótano se utilizarán unidades de tratamiento de aire específicas (climatizadores) con capacidad de todo aire exterior, o recirculación.

Para climatizar los edificios se utilizarán unidades terminales de tratamiento de aire tipo ventiloconvector (“fan coil” en inglés), o climatizadores compactos, con aportación de aire exterior centralizado mediante equipo de aire primario. Todas las unidades de tratamiento de aire exterior dispondrán de un módulo de humidificación para regular la humedad relativa del aire primario.

### **Iluminación**

Se prevé la instalación de un sistema de control de iluminación específico basado en protocolo abierto. Para el control de las zonas generales de trabajo se prevé un accionamiento desde el sistema central y por horarios. En los frentes de ventana se prevé la instalación de sondas de luminosidad para la regulación de las luminarias (regulables con tecnología DALI) en función del aporte de luz natural.

Se prevé la instalación de detectores de movimiento/presencia en estos espacios para la creación de pasillos virtuales de alumbrado en caso de circulación fuera del horario de trabajo establecido.

Para los despachos se ha optado por la colocación de detectores de presencia en techo. La detección de presencia en estos espacios realizará una doble función. Por un lado servirá para accionar la iluminación del espacio. Por otro, desde los detectores, se dará una señal al sistema de gestión de instalaciones del edificio (SGC) que actuará sobre la

instalación de climatización apagándola o dejándola en temperatura de mantenimiento en caso de no detectarse presencia en los despachos.

Para las salas de reuniones se prevé la colocación de teclados que permitan la elaboración de distintas escenas de iluminación (presentación, reunión, proyección, etc). Las zonas de aparcamiento se prevén se controlen por horario, estableciéndose desde el sistema horarios de funcionamiento.

El resto de espacios como salas técnicas, almacenes, etc. se controlarán por medio de pulsadores. Se podrá establecer, dependiendo del espacio, una temporización de modo que se evite dejar iluminación encendida de forma accidental especialmente en zonas de uso esporádico.

### **Automatización y Control**

Se ha proyectado un sistema de gestión de instalaciones para monitorizar y controlar de forma automática las instalaciones del edificio.

Su finalidad es la automatización de las instalaciones, integradas en una única plataforma y la mejora de su eficiencia energética. Para ello, el sistema de gestión facilita al operador el análisis de los datos de comportamiento de las instalaciones y diversas opciones de control automático y manual.

El sistema se compone de elementos de campo, controladores y puesto de operador. Los elementos de campo (sondas de temperatura, válvulas motorizadas, contactores, etc.) se conectan a los controladores donde residen los programas de automatización, regulación y monitorización.

Estos controladores, que disponen de funcionamiento autónomo, se conectan en lazo entre ellos y con el puesto de operador para posibilitar interacciones y la operación centralizada.

- Regulación y estados de los circuitos primarios y secundarios de los sistemas de AF/AC en función de los valores de consigna.
- Regulación y estados de climatizadores en función de los valores de consigna.
- Estados y Marcha/Paro de los equipos de producción de AF/AC.
- Regulación y estado de los ventilosconvectores.
- Marcha/paro y estado de ventiladores.
- Integración/Alarmas de las bombas de calogeotérmicas
- Integración de los cuadros de bombas.
- Registro de consumos de los equipos de producción.
- Registro de energía térmica generada por los equipos de producción.
- Alarmas de centrales de CO

### **Energías Renovables in situ o en el entorno**

Con el fin de reducir al mínimo el consumo de energía final no renovable, se han incluido en el edificio dos fuentes de energía renovable no obligatorias según el Código Técnico de la Edificación:

#### **ENERGÍA GEOTÉRMICA**

La inclusión de producción de energía térmica (junto con el cuidado diseño de la envolvente térmica que reduce la demanda energética de calefacción y de refrigeración) permite reducir el consumo de energía final y energía primaria no renovables, así como reducir significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio. Con los datos de las demandas energéticas mensuales del edificio y la parte cubierta por la instalación de energía geotérmica, el resultado anual es el siguiente:

	DEMANDA	PRODUCCIÓN	PORCENTAJE PRODUCIDO MEDIANTE GEOTERMIA
CALEFACCIÓN	1.590.459,3 kWh	1.422.323,6 kWh	89,4%
REFRIGERACIÓN	1.228.205,4 kWh	617.513,8 kWh	50,3%

### ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Como medida para la reducción del consumo de energía final y primaria no renovable y reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas se han incluido en el edificio tres campos de paneles solares fotovoltaicos de 75 kilovatios pico de potencia. Estos paneles solares fotovoltaicos tienen una producción de:

	PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EVITADAS
CAMPO DE PANELES FOTOVOLTAICOS 1	84.743 kWh	28.049,3 kg CO <sub>2</sub>
CAMPO DE PANELES FOTOVOLTAICOS 2	84.360 kWh	27.923,2 kg CO <sub>2</sub>
CAMPO DE PANELES FOTOVOLTAICOS 3	83.593 kWh	27.669,3 kg CO <sub>2</sub>

Teniendo en cuenta que, gracias al estudio realizado para la selección de vidrios que ha permitido maximizar la entrada de luz natural limitando la demanda de energía térmica para calefacción y refrigeración y según los datos recogidos de la calificación energética del edificio, el consumo eléctrico estimado para la iluminación es de 360.155,6 kWh la producción fotovoltaica in situ supondría el 70,2% del consumo energético de iluminación.

### PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de ejecución material de este proyecto asciende a la cantidad de 46.765.661,66.- euros, que añadidos los gastos generales (13%), beneficio industrial (6%) y el IVA vigente (21%) suma una inversión total de 67.337.876,23.- euros.

### CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Se ha realizado una evaluación directa de la demanda energética mediante la comparación de esta demanda del edificio (edificio objeto con una renovación de más del 25% de la envolvente térmica) con la demanda correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción de la herramienta unificada Lider-Calener:

- El edificio objeto es el edificio tal cual ha sido proyectado en geometría (forma y tamaño), construcción y operación.
- El edificio de referencia tiene las mismas características que el objeto pero con unas calidades constructivas que garantizan el cumplimiento estricto de las exigencias de la demanda energética establecidas en la normativa.

Paralelamente se ha comprobado la ausencia de condensaciones en la envolvente térmica y se han limitado las infiltraciones de aire para mantener las condiciones establecidas por el Documento Básico.

Debido al tamaño del edificio y a las limitaciones de la herramienta de cálculo, ha sido necesario dividir el modelo del edificio por tipología y orientación, dando lugar a cinco unidades separadas nombradas E1, E2, E3, E4 y E5, respectivamente. La distribución del modelo se ilustra en las figuras 2 y 3.

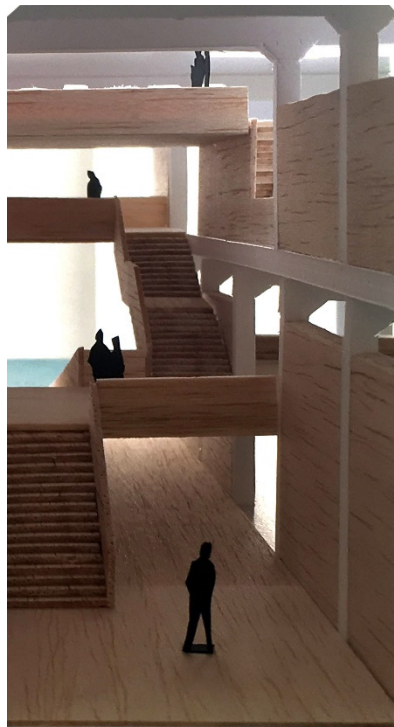
INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	185 (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)
Demanda Calefacción:	39,86 (kWh/m <sup>2</sup> año)
Demanda Refrigeración:	35,73 (kWh/m <sup>2</sup> año)
Aporte Renovables:	Ver las tablas en el apartado Energías Renovables
Emisiones CO <sub>2</sub> Edificio:	33,95 (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)

Según la escala de valores a la que hace referencia el Real Decreto 235/2013, se considera que este edificio obtendría el Certificado de Eficiencia Energética con calificación.

## IMÁGENES PROYECTO



*Figura 2. Detalle sección del edificio.*



*Figura 3. Detalle de los pasajes interiores.*



## “CASA QUETA”: UN EECN CONCEBIDO PARA DISFRUTAR LA ORIENTACIÓN NORTE

**Resumen Proyecto:** La idea de concebir inmuebles con unas orientaciones perfectas y sin condicionantes de ningún tipo es “la quimera” de cualquier equipo (arquitectura, ingeniería, construcción) en la incorporación de EECN al parque inmobiliario de nuestro país. Pero la realidad, en ocasiones contadas se da esta circunstancia. Resulta por tanto, de interés para este equipo mostrar como un edificio puede concebirse con una orientación al norte, en una zona de vientos bastante constante, como es la costa asturiana. Para los propietarios, las vistas al mar resultaron ser el motivo para la selección de la parcela y la decisión de hacerse su vivienda en esta zona. Todo ello pasaba por maximizar los conceptos *comfort interior*, *mínimo consumo energético* y una apuesta por la sostenibilidad con la inclusión de un *sello VERDE*. “Casa Queta” tiene todas las estancias principales; cocina, salón-comedor y habitaciones mirando al Cantábrico, motivo que condicionó toda la envolvente, el diseño de los espacios interiores y exteriores y la selección de los equipos de climatización y ACS.



Figura 1. Alzado Norte.



Figura 2. Alzado Sur.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Quintueles s/n, Villaviciosa- Asturias.
Uso Característico Edificio:	Residencial
Zona Climática:	E1
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	200 m2
Fase del Proyecto:	En ejecución
Otros:	Certificación VERDE.

### MEMORIA DESCRIPTIVA

Casa Queta es una vivienda unifamiliar que aúna elementos de la construcción tradicional de la zona; tales como una cubierta a dos aguas con teja curva roja, presencia de aleros, un formato exterior sobrio, con una arquitectura funcional y contemporánea. Sus objetivos han sido bastante ambiciosos, basados en:

- La reducción de la demanda energética, a fin de obtener un hogar más allá de los criterios EECN del horizonte 20.
- La adaptación del consumo eléctrico final según usos.
- Preocupación por la huella ecológica y concienciación de una arquitectura sostenible que sirva de referente a otros usuarios.
- Un escrupuloso seguimiento y contención de los costes de ejecución, desde la fase de diseño hasta la ejecución. Integración de herramientas BIM y equipos técnicos de trabajo.

### Agentes del Proyecto

El grupo de profesionales que han participado en este proyecto ha sido numeroso y heterogéneo, unidos por el interés en la mejora energética y adaptación de soluciones a la eficiencia energética.

- Promotor: Prudencio Martínez Martínez y Concha Uría González.
- Proyectista y Dirección de Obra: Concha Uría.
- Dirección de Ejecución: Sandra Sánchez Iglesias.
- Evaluador VERDE: Ana Isabel Menéndez Suárez.
- Otros Técnicos Intervinientes: Cristobal Ramón Gómez y Luis Angel Iglesias (ingeniería instalaciones eléctricas) Iván Menéndez Suárez (consultor eficiencia energética), Gabriel Uría (ingeniería instalaciones térmicas)
- Otros Agentes: Empresa consultora energética y constructora EFINCO, S.L., ingeniería de instalaciones térmicas e instaladora URÍA INGENIERÍA DE INSTALACIONES, S.A., ingeniería eléctrica LACC INGENIEROS, S.L.

## Objetivos

Casa Queta propone la integración de todos los factores condicionantes en los proyectos para aplicarles soluciones eficientes que transformen las carencias en fortalezas. Es cierto, que las condiciones climáticas influyen de manera determinante en los proyectos, pero también lo es que en la en muchos casos las orientaciones vienen determinadas por la edificabilidad, la parcela o la situación.

## Descripción del Proyecto

Se trata de un edificio de planta rectangular y gran compacidad, distribuido en dos alturas y una planta semisótano, ya que el desnivel del terreno hacía lo hacía necesario. La mayor parte de de los huecos acristalados se encuentran en la orientación norte, sin embargo, se ha perseguido la maximización de las ganancias solares en los meses de invierno con la adecuación del resto de los huecos, así como una protección de sobrecalentamientos en verano. La protección de los espacios exteriores de porche de los vientos dominantes ha sido otro de los objetivos prioritarios.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

Los sistemas constructivos utilizados se han basado en la utilización de *elementos existentes* en la zona, de *un coste cierto y contenido* que no encarecieran la construcción y que sus acabados *no resultaran divergentes del entorno rural* donde se ubica la vivienda.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

El edificio parte de una losa de hormigón armado, a 3,00 metros bajo la rasante del terreno, ya que las características del terreno lo aconsejaban, a la vez que permite, el aislamiento bajo la cimentación eliminando los puentes térmicos en estos puntos.

La planta semisótano cuenta con muros de contención de hormigón armado sobre los que arrancan los muros de carga que servirán de soporte a las losas de hormigón de planta primera.

La cubierta será de madera y avanzará para proteger el porche de la cara sur y el aparcamiento abierto de vehículos.

## Sistemas de Envoltentes y Acabados

La cimentación cuenta con un aislamiento bajo la misma a base de XPS con una transmitancia térmica de 0,28 w/m<sup>2</sup>k

La planta semienterrada está compuesta por un muro de hormigón de 25 cm de espesor y aislamiento térmico por su cara exterior con una transmitancia térmica de 0,25 w/m<sup>2</sup>K colocado de manera continua desde el arranque del aislamiento bajo losa.

El cerramiento exterior del edificio consiste en un SATE (sistema de aislamiento térmico por el exterior) con un espesor del aislamiento variable en función de las orientaciones y una transmitancia térmica que va de los 0,16 a los 0,19 w/m<sup>2</sup>k.

La cubierta se compone de una cubrición de teja ventilada (garantizando tanto el correcto funcionamiento de la misma, como la reducción de las ganancias solares en verano). Contará con una capa reflectiva para reducir las ganancias por radiación, como con un núcleo de XPS consiguiendo con todo ello una transmitancia térmica de 0,16 w/m<sup>2</sup>k.

Por lo que respecta a los huecos acristalados, contarán con un marco de madera y triple vidrio para reducir las pérdidas serán bajo emisivos e incorporarán gas argón en las cámaras, no todos los vidrios tienen la misma configuración,

variando está en función del hueco. Las carpinterías exteriores tienen un gran protagonismo, máxime teniendo en cuenta que parte están orientadas al norte.

Toda la envolvente ha sido diseñada para garantizar una continuación de los aislamientos y por consiguiente una eliminación de los puentes térmicos.



Figura 3. a) Aislamiento bajo losa b) Aislamiento por el exterior muros contención c) Cubierta de madera tradicional.

Otro punto importante tratado ha sido el control de las infiltraciones (entradas de aire no deseadas), dada la especial importancia que las mismas tiene en la demanda energética del edificio y sobre todo en zonas expuestas a vientos noreste y noroeste.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

Tras un estudio de las necesidades, se ha procedido a dotar al edificio de sistemas lo más eficientes posibles, pero al mismo tiempo cumpliendo con unos objetivos de costes y sistemas maduros en el mercado que aporten seguridad y estabilidad en los equipos.



Figura 4. a) Recuperador de calor b) Instalaciones térmicas c) Suelo radiante.

### Calefacción

Un sistema de calefacción mediante suelo radiante por agua con bomba de calor aerotérmica, dimensionado para una baja demanda de calefacción, al no instalar una potencia sobredimensionada, se produce un ahorro económico en los equipos y en los futuros consumos.

### Ventilación

El aire interior de la vivienda se renueva continuamente mediante un sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor. La energía contenida en la salida de aire al exterior es aprovechada por el recuperador para precalentar el aire que se introduce, de este modo se logra mantener un ambiente interior limpio y saludable, al mismo

tiempo que se reduce la demanda de calefacción. En los meses cálidos de verano el intercambiador tiene opción by pass, para la renovación del aire sin precalentamiento, Aprovechando el fresco nocturno para la renovación de aire.

### Iluminación

Los parámetros que formarán parte de las características técnicas de los equipos a elegir y que se sustentarán mediante elementos de control y regulación que proporcionen, bien de forma automática o manualmente, los parámetros luminotécnicos se basarán en las tecnologías en base a la elección de una temperatura del color confortable para los usuarios, un índice de reproducción de color apropiado para las actividades a realizar, un valor mínimo en el índice de deslumbramiento y el aprovechamiento de la luz natural en los espacios dotados de huecos exteriores.

Los equipos de las luminarias serán de tecnología LED RGB con posibilidad de regulación automática por el equipo central de control y manual a gusto del usuario. El uso de las tecnologías LED combinadas con la reproducción RGB que aportarán al usuario un menor consumo energético y la elección de la temperatura del color que más le agraden en cada momento.

Las ópticas a elegir para las luminarias proporcionarán una curva fotométrica que maximice el rendimiento de la luminaria y la superficie a cubrir en cada espacio, sin perjuicio de las características de confort requeridos por los usuarios.

Los balastos de alimentación y regulación serán de tecnología electrónica de estado sólido, con los que se minimizan las pérdidas energéticas en este concepto. Los equipos de regulación o “dimmers” serán capaces de actuar entre el 0% y el 100% de la intensidad lumínica del equipo, con el consiguiente ahorro energético.

La regulación de las luminarias se realizará desde una plataforma integrada de control automático y terminales de operador localizados a lo largo de la vivienda con los que el usuario podrá modificar los parámetros y escenarios programados.

El control automático de la iluminación en los espacios dotados con huecos exteriores estará resuelto con sensores de intensidad lumínica conectados al control central de la iluminación, mediante el que se decidirán los niveles de atenuación de la luz artificial y aprovechamiento de la luz natural.

Todas las zonas iluminadas dispondrán de operaciones manuales o automáticas, a elección del usuario, con el objetivo de personalizar y optimizar tanto los consumos energéticos como las exigencias de confort.

La plataforma de control de iluminación estará integrada en el sistema central de comunicación que dispondrá la vivienda.



Figura 5. a) Control Integrado soluciones b) Dimerización de lámparas.

### Automatización y Control

El sistema de control y automatización permitirá el acceso desde plataformas de comunicación exteriores a la vivienda que permitan al usuario la consulta y toma de decisiones, a la par que permita saber el consumo energético en cada momento por parte del usuario.

En el sistema de control y automatización se integrarán las alarmas técnicas de seguridad de la vivienda (detectores de CO, sensores de agua, etc.), el sistema de calefacción, ACS, el sistema de ventilación, el sistema de climatización, sistema accesos y control de persianas y el sistema de control de la iluminación.

La entrada de las señales al sistema de control y automatización serán de tipo analógico o de tipo TON (todo o nada) dependiendo del tipo de sonda empleado y con capacidad para el seguimiento de las curvas de funcionamiento. Las salidas del sistema de control y automatización se realizarán en todo momento sobre actuadores específicos para el accionamiento de los equipos a controlar.

El sistema de control y automatización contemplará la posibilidad de control de un sistema autónomo de alimentación eléctrica basado en equipos de generación de energía eléctrica de origen renovable.

Al contemplar la posibilidad de un sistema híbrido de funcionamiento eléctrico en el que se combine el consumo de la red eléctrica con un sistema alternativo de generación de energía, los elementos constituyentes de la instalación eléctrica estarán concebidos para el funcionamiento en los modos de red, autónomo o híbrido.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

La integración de energías más sostenibles basadas en fuentes de energía renovables y más económicas ha sido otro de los pilares de este proyecto.

Se ha optado por la **energía solar térmica** para la producción de ACS, ya que es una de las formas más eficientes y económicas de aprovechar un recurso abundante y autóctono, el cual además es gratuito y se dispone en el mismo punto de consumo. Su utilización, supone la disminución del consumo de energía primaria y de emisiones de CO2.

Casa Queta cuenta también con la instalación de **placas fotovoltaicas** que permitirán apoyar un consumo más sostenible dentro de la vivienda, se ha desechado sin embargo, la opción de producción “en isla”, puesto que las necesidades energética no son constantes dentro de la vivienda, asegurar los picos de consumo resultan demasiado costosos económicamente para poder garantizar el suministro total en base a la instalación de baterías.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de ejecución de este proyecto no difiere en absoluto de lo que sería el precio medio de la vivienda aislada en Asturias, puesto que uno de los objetivos ya comentados es la adecuación de la eficiencia energética y sostenibilidad al precio.

Datos económicos; viabilidad económica	
Superficie construida:	301,50 m <sup>2</sup>
P.E. con BI+GG (sin IVA):	915,63 eur/m <sup>2</sup>

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	24,34 Kwh/m <sup>2</sup>
Demanda Calefacción:	12,88 Kwh/m <sup>2</sup>
Demanda Refrigeración:	3,25 Kwh/m <sup>2</sup>
Aporte Renovables:	65 %
Emisiones CO <sub>2</sub> :	4,12 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Superficie habitable:	223,09 m <sup>2</sup>

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El edificio cuenta con calificación energética A en cada una de sus vertientes; consumo de energía primaria, demanda de calefacción y emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el concepto de EECN se cree que es más amplio y va más allá de la mera obtención de una calificación energética A.



*Figura 6. Certificación energética y Ambiental.*

El inmueble contará con un sello VERDE como compromiso con la sostenibilidad que se espera obtenga un rango a partir de 3 sobre 5, controlando factores más allá de la propia vivienda como son la parcela y emplazamiento, gestión y utilización de recursos.

## REINVENTANDO LA OFICINA: BIOCONSTRUCCIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Resumen Proyecto:** Adecuación de un local comercial situado en un edificio de viviendas de 1954 para abrir la nueva oficina de Triodos Bank. La oficina debe cumplir tres requisitos: ser sensible a las necesidades de las personas y su entorno, generar comunidad y ser respetuosa con el medio ambiente, convirtiéndose en un espacio de consumo de energía casi nulo. El nuevo espacio se divide en: zona de Bienvenida, espacio de Networking, zona de Atención Personalizada y Espacio de Servicio. Se han tenido en cuenta criterios de diseño pasivos y activos con el objetivo de lograr un espacio eficiente, sano y bello para las personas que allí trabajan o lo visitan. Las soluciones constructivas se han elegido considerando tres valores de los materiales: el bajo impacto de sus emisiones, la no toxicidad y la puesta en valor de la identidad del lugar. Hemos creado una idea de oficina que cambia para siempre la experiencia de visitar un banco. La primera Oficina de Banco 100% sostenible diseñada escuchando a las personas.



Figura 1. Zona de atención personalizada, bienvenida y networking al fondo. Triodos Bank Málaga.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Calle Córdoba 9, 29001 Málaga
Uso Característico Edificio:	Sucursal bancaria
Zona Climática:	A3 (Málaga)
Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación
Superficie Total Construida:	237,35 m2
Fase del Proyecto:	Fin de obra Junio 2016
Certificaciones:	BREEAM, ECÓMETRO, ceroCO2 y FSC

### MEMORIA DESCRIPTIVA

Hemos desarrollado un proceso de diseño de lo que van a ser las nuevas oficinas de Triodos Bank. El proyecto incluye dos partes: un nuevo “diseño de servicio”, que posibilita una nueva forma de relacionarse con los clientes; y por otro

lado, un nuevo espacio que ya no sea solo una oficina bancaria de uso transaccional, sino que permita otro tipo de conversaciones y encuentros con valor añadido, una oficina que construya comunidad en torno a Triodos Bank.

## Agentes del Proyecto

- Promotor: TRIODOS BANK N.V. ESPAÑA
- Proyectistas: sAtt Arquitectura Abierta
- Dirección Obra: sAtt Arquitectura Abierta
- Constructor principal: ALTAVE
- Otros Agentes: Mosaista (Baldosa hidráulica), Matimex (Baldosa cerámica), Vertiarte (Jardín vertical).

## Antecedentes

El inmueble protegido en GRADO 1, tenía un estado de conservación bueno. Se realizó un análisis geoambiental en el que se identificó un fuerte campo eléctrico en la esquina sureste del local debido al cuadro de contadores del edificio, que fue determinante en la distribución del programa para el espacio de oficina.

## Descripción del Proyecto

Adecuación de un local comercial situado en un edificio de viviendas de 1954 para abrir la nueva oficina de Triodos Bank. La oficina cumple tres requisitos: es sensible a las necesidades de las personas y su entorno, genera comunidad y es respetuosa con el medio ambiente, convirtiéndose en un espacio de consumo de energía casi nula. Se ha realizado el análisis de ciclo de vida de los materiales en sus fases de fabricación, construcción, uso y fin de vida; calculando los impactos de calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, oxidantes fotoquímicos, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos abióticos y consumo de energía.

## Prestaciones del Edificio

La oficina de Málaga es la primera sucursal bancaria en proceso de obtener el certificado de edificación sostenible BREEAM en España, con calificación entre muy buena y excelente.

Tiene el certificado de Análisis de ciclo de Vida de ECÓMETRO y al haber compensado el CO2 emitido en el proceso de construcción y al evitar emisiones en su funcionamiento, podemos considerarla un espacio CERO CO2. Tiene calificación energética A.

En el proceso de diseño se han seguido los estándares de sostenibilidad más exigentes, teniendo en cuenta criterios de bioconstrucción, eficiencia energética, análisis de ciclo de vida, psicología ambiental, análisis geoambiental, energías renovables y calidad ambiental.

Con lo que podemos afirmar que la oficina utiliza un 100% de energía de origen renovable y se monitoriza el consumo energético de manera que se reduce en un 50-70% el consumo de energía y el consumo de agua es hasta un 40% menor con respecto a un proyecto de características similares.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

Todas las soluciones constructivas que se emplean en el proyecto se han elegido teniendo en cuenta un estricto análisis del ciclo de vida de cada uno de los materiales, intentando lograr a su vez el mínimo consumo energético del local durante su ciclo de vida útil y el mayor confort posible de sus usuarios.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La estructura del edificio está resuelta con pórticos de hormigón armado y forjado de hormigón en masa. La fachada no tiene carpinterías.

## Sistemas de Envolvertes y Acabados

Se emplean materiales ecológicos y sanos realizando un análisis de ciclo de vida, como por ejemplo la baldosa hidráulica y el barro, que no tienen coste energético en su fabricación. Se ha instalado un jardín vertical, con un ventilador que hace que el aire pase por las raíces de las plantas. También se ha elegido vegetación adecuada a la



localización geográfica. En fachada no se realiza más actuación que la sustitución del cierre actual de los vanos por unas carpinterías de vidrio de seguridad, y la colocación de unos rótulos con letras individuales. En el vano central se realiza un retranqueo para marcar la entrada al local, revistiendo los laterales con la misma piedra de la fachada. El vano que queda a la derecha de la entrada se utiliza para colocar el cajero automático, recubriendo el mismo con una lámina de Dibond impresa, en cumplimiento de la normativa local vigente. Se colocan letreros no luminiscentes con letras fijadas individualmente en la parte superior del vano, e iluminados mediante focos. El cerramiento de los vanos se realiza con persianas metálicas enrollables.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### **Calefacción**

Sistema de Volumen de Aire Variable (VAV)

### **Refrigeración**

Sistema de Volumen de Refrigeración Variable (VRV)

La climatización del local se realiza de forma que se aseguran en todo momento las condiciones de confort y salubridad en todas las zonas del local proyectado. La producción de frío y calor necesaria se realiza por medio de una bomba de calor: una máquina de tipo VRV situada en la cubierta del edificio, como se ha planteado en el apartado anterior. Se trata de una unidad exterior de Volumen Refrigerante Variable serie VRV IV de Daikin modelo RXYQ10T. Los conductos suben por un patinillo existente situado en el forjado del distribuidor. Se colocan juntas Refnet, y las tuberías frigoríficas se aíslan con coquilla elastomérica de espesor variable en función del diámetro de la tubería. Se utilizan las siguientes unidades interiores, adaptadas al tipo de espacio que requieren climatizar: El suministro de energía se contrata con Gesternova, que asegura que el 100% de la energía es de origen renovable. Se han adjuntado los documentos acreditativos.

Se zonifica térmicamente el espacio, de modo que se optimice la climatización y se favorezca el confort de los usuarios.

### **Ventilación**

Sistema de doble flujo. La renovación higiénica del aire se realizará de un modo continuo, variando el caudal entre un valor mínimo (sucursal cerrada) y un máximo (máximo aforo). Para ello se emplean dos ventiladores gemelos de baja presión acústica, uno para introducir aire exterior (admisión) y otro para sacar el aire viciado (expulsión).

### **Iluminación**

Se emplea el sistema DALI para la regulación y el control de la iluminación. La luz natural también se ha tenido en cuenta para la ubicación de los puestos de trabajo. Las luminarias más próximas a los ventanales disponen de sensores de medición de luz conectados al sistema DALI de forma que su activación y regulación responden a las condiciones exteriores.

### **Automatización y Control**

Se monitoriza el consumo energético de manera que se reduce en un 50-70% el consumo de energía. El consumo de agua es hasta un 40% menor y se reducen los gastos de funcionamiento y mantenimiento entre un 7-8%. A través del sistema DALI, que permite controlar y regular la iluminación, se reduce el flujo nominal de cada una de las luminarias en un 10%.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

La energía contratada es a través de un contrato con Gesternova, que garantiza que sus fuentes son 100% renovables.

### **Tipos Energías Renovables**

El porcentaje por tecnología renovable de la energía que suministra Gesternova en el Mercado Eléctrico Español:

- Fotovoltaica (84,7%)
- Hidráulica (10,9%)
- Biomasa (4,0%)
- Eólica (0,4%)

## Aislamiento térmico

Buena protección térmica para verano e invierno y aislamiento térmico optimizado de la construcción: Se añade aislamiento en suelo, muros y techos. En el suelo se sustituye el recredido habitual por la surolita, que se compone de una mezcla de corcho en viruta y cemento de modo que esta capa se convierta en aislante. Las paredes y las caras inferiores de forjado se han proyectado con celulosa; en las paredes con un espesor de 6cm y en los techos con 4cm. En el techo de la zona de patio también se ha proyectado sobre el cartón-yeso una capa de 2cm de thermocal, que favorece y refuerza el confort higrotérmico del espacio que previsiblemente tendrá una ocupación más elevada.

## Salud y confort

Se ha realizado un estudio geoambiental que determine los campos electromagnéticos, las corrientes subterráneas o los cruces de líneas hartmann, con el objetivo de situar a los trabajadores en las zonas de menor afección. La iluminación es un factor determinante en el diseño, los puestos de trabajo se sitúan de modo que se favorezca la iluminación natural, que puede controlarse mediante sistemas de oscurecimiento de estores de polyscreen. La iluminación artificial es 100% led y se controla mediante un sistema DALI, que la programa y regula adaptándose en función de los horarios de funcionamiento de la oficina y de los niveles de iluminación natural que recibe a través de sensores colocados en techo. La climatización del local se realiza de forma que se aseguran en todo momento las condiciones de confort y salubridad en todas las zonas del local proyectado. Se ha realizado una modelización térmica del local. se coloca un equipo VRV en la cubierta y se distribuya a través de unidades interiores que se adaptan a cada espacio al que sirven. Se zonifica térmicamente el espacio, de modo que se optimice la climatización.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El coste de la construcción es 361.485 EUR con un coste/m2 de 1.954 EUR/m2.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

De tal forma que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio. El proyecto se ajusta a lo especificado en el db-he a este respecto.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	0
Demanda Calefacción:	1,17 kWh/m2 año
Demanda Refrigeración:	10,29 kWh/m2 año
Aporte Renovables:	42,00 kWh/m2 año
Emisiones CO2 Edificio:	7,1 kgCO2/m2 año compensado con fuentes renovables Gesternova, por lo tanto supone 0 kgCO2/m2 año
Consumo de Energía Primaria renovable:	42,00 kWh/m2 año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El certificado energético permite conocer el consumo energético del local y las emisiones de CO2. Se ha realizado la certificación energética de la oficina a través de las herramientas Calener y Ce3x, siendo validada esta última a través de la Junta de Andalucía. Al contratar una distribuidora de energía 100% renovable, las emisiones en kgCO2/m2 año serán siempre y en todo caso casi 0. Por lo que la calificación energética, mientras la energía esté así contratada será un A.

La oficina de Málaga es la primera sucursal bancaria en proceso de obtener el certificado de edificación sostenible BREEAM en España. El resultado del proceso que se está tramitando respaldado por la asesoría oficial de Breeam, tiene como objetivo la consecución de la calificación muy buena o excelente. El mobiliario y las carpinterías diseñadas

y ejecutadas para Triodos Bank, tienen su madera certificada con el sello FSC y así se recoge en los albaranes y facturas de CLIMATAC, como empresa realizadora del mobiliario, y ALTAVE como empresa constructora.

Las 66 toneladas de CO<sub>2</sub> generadas en el proceso de construcción y las 0,224 generadas en los desplazamientos de la misma de la oficina Triodos Bank Málaga, se compensan con la aportación voluntaria de una cantidad económica equivalente proporcional al CO<sub>2</sub> generado. Esta aportación sirve para poner en práctica un proyecto de sumidero de carbono de reforestación. En este caso en Nicaragua. El CO<sub>2</sub> emitido fue calculado con la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida desarrollada por ECÓMETRO.

## IMÁGENES PROYECTO

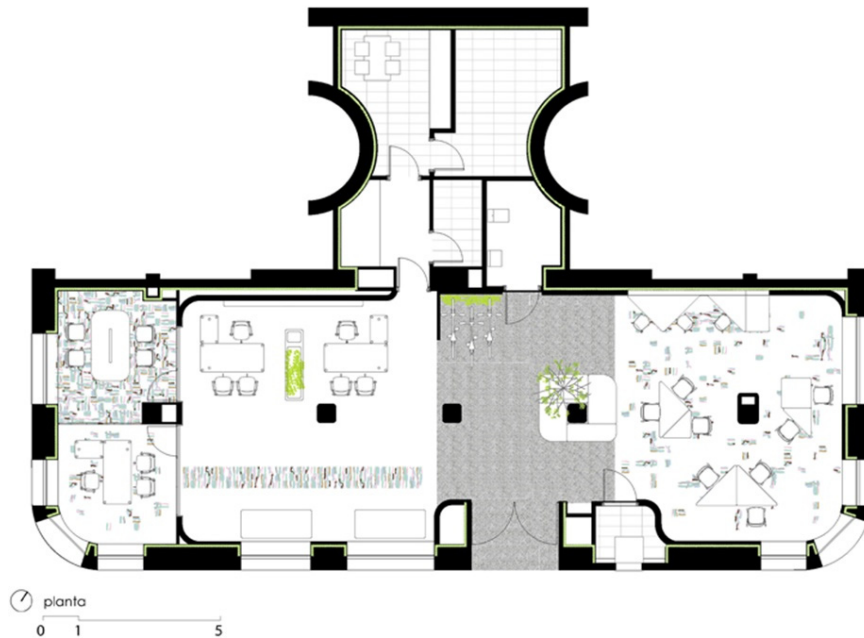


Figura 2. Plano de planta de la oficina.



Figura 3. Imagen exterior de la oficina.



Figura 4. Imagen de cajero en fachada.



Figura 5. Zona de networking y bienvenida.



Figura 6. Zona de networking.



Figura 7. Espacio de servicio y zona de bienvenida.

## OBRA DE REHABILITACIÓN INTEGRAL DE CASONA DE INDIANOS DE 102 AÑOS QUE FORMA PARTE DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE ASTURIAS PARA USO COMO HOTEL RURAL

**Resumen Proyecto:** Se propone el estudio a nivel energético del camino a seguir hacia los EECN, desde la doble apuesta por la rehabilitación energética de una casona de Indianos de 450 m<sup>2</sup>, con más de 100 años de vida que forma parte del patrimonio arquitectónico de Asturias y la adopción de los rigurosos criterios de la certificación Passivhaus para convertirlo en un hotel rural. Además, se plantea una rehabilitación basada en criterios de bioconstrucción, lo que ayudará más si cabe a garantizar un ambiente interior sano y confortable. Todo ello, supondrá diferenciarlo positivamente del resto de ofertas turísticas de la zona. La protección media del inmueble nos obliga a plantear la envolvente térmica por el interior de los muros de piedra existentes, conservando a su vez dicha estructura, los muros interiores de ladrillo macizo y los forjados de madera empleados en la arquitectura tradicional asturiana. Desde el punto de vista de las instalaciones, contará con un sistema compacto de aerotermia para calefacción, climatización y ACS y un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor centralizado. Durante su funcionamiento se prevé realizar una monitorización del confort interior del inmueble (t<sup>a</sup>, humedad, CO<sub>2</sub>), de COV y formaldehidos.



Figura 1. Casona de Indianos\_Estado Previo a Rehabilitación Enerphit.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Palacio de Ardisana 46, Concejo de Llanes (Asturias)
Uso Característico Edificio:	Hotel rural (Casa de Aldea)
Zona Climática:	D1

Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación
Superficie Total Construida:	469,45m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	<i>En construcción</i>
Otros:	Objetivo energético: Certificación bajo el sello de rehabilitación Enerphit del estándar Passivhaus.
Otros:	Evaluación del proyecto mediante la Certificación Verde del GBCe (en proceso).

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Alfonso Luis Valle Poo
- Proyectistas: DUQUEYZAMORA arquitectos formado por Iván Duque y Alicia Zamora
- Dirección Obra: Manuel Fernández
- Otros Técnicos Intervinientes: Claudia González, arquitecta; Enrique Alzaga, ingeniero.
- Otros Agentes: Construcciones Cueto; Carpintería Diaz Cobian; Georenova con las instalaciones de climatización y ventilación; Saint Gobain para la mejora de la acústica del proyecto y futura monitorización del funcionamiento del edificio.

### Antecedentes

El promotor apuesta por dar una segunda vida a un inmueble que ha pertenecido a la familia desde su origen, pero que lleva varias décadas deshabitado, con el consiguiente deterioro. Se trata de una casa compacta de Arquitectura Residencial Indiana construida en el año 1915 en el pueblo de Palacio de Ardisana (Llanes) y conocida como la “Casa del Médico”, que por sus características arquitectónicas como casa de indianos está recogida en el libro de referencia “Una arquitectura de Distinción, Análisis y Evolución de la Casa Indiana en el Concejo de Llanes entre 1870 y 1936” de la Ed. Real Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo 2007 de la autora Marta Llavona Campo, y con ficha número PAL-1 dentro del inventario hecho en la publicación. Cuenta con parcela de superficie 1.261m<sup>2</sup> que abarca jardín y huerto propio.

Compuesta de planta baja, primera y bajo cubierta, la casa tiene forma casi cuadrada y una superficie en planta de 156m<sup>2</sup>, con muros de piedra y cubierta de teja a cuatro aguas, y responde a la tipología de casa compacta con escalera al fondo. Las fachadas laterales Este y Oeste son de similares características. La Este tiene una galería central, en planta primera, de madera y cristal con cubierta independiente a tres aguadas apoyado sobre pilares de fundición y un hueco a cada lado. Mientras que en fachada Oeste el mirador se convierte en una gran galería acristalada apoyada sobre cuatro pilares de fundición. La fachada Norte, actualmente, no presenta elementos singulares. El proyecto de rehabilitación, tiene como objetivo recuperar dos casetones que tenía la casa en su origen, ubicados en la planta bajo cubierta de esta fachada trasera y recuperar la luz natural en estos espacios.

La propiedad plantea rehabilitar la casa y adaptarla para su uso como hotel con 7 habitaciones; nuestra propuesta es hacerlo cumpliendo con el estándar Passivhaus o Enerphit bajo criterios de bioconstrucción, lo que supondrá además diferenciarla positivamente del resto de casas, hoteles y apartamentos rurales, muy numerosos en esta zona.

### Descripción del Proyecto

Asturias tiene un patrimonio arquitectónico muy amplio e interesante, donde las Casonas de Indianos son quizás la parte más destacada; sin embargo, en gran medida están obsoletas, con un deficiente estado de conservación, sin uso y faltas de mantenimiento.

El proyecto de la “Casa del Médico” en Palacio de Ardisana, se puede considerar como un “caso de estudio” para futuras intervenciones en el patrimonio arquitectónico de Asturias tendentes a transformar las conocidas como casas de indianos, caracterizadas al efecto como edificios con fachadas protegidas que obligan a actuar por el interior, en edificios de CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO.

Se ha diseñado según el programa de necesidades planteado por la propiedad y con el objetivo principal de alcanzar las características de un edificio de consumo energético casi nulo, anticipándonos así a la entrada en vigor de la Directiva 2010/31 de la Unión Europea, donde se establece que todos los edificios privados han de cumplir estos niveles de consumo, y que entrará en vigor en 2021 (2018 para los edificios públicos). Este proyecto propone el estudio a nivel energético del camino a seguir hacia los EECN, desde la doble apuesta por la rehabilitación energética de un inmueble con más de 100 años de vida y la adopción de los rigurosos criterios del estándar Passivhaus y su sello de rehabilitación EnerPhit.

Se toman como referencia las limitaciones de demanda y los criterios de diseño y construcción establecidos por el Estándar Passivhaus, nacido en Alemania a principios de los años 90, y que tras más de veinte años de experiencia y mediante el análisis de los resultados obtenidos de la monitorización de estos edificios, se ha consolidado como referencia para el diseño y construcción de edificios de alta eficiencia energética. El proyecto está planteado para ser certificado bajo el sello Enerphit del estándar Passivhaus. Los edificios Pasivas se caracterizan por un nivel especialmente alto de confort térmico con un consumo mínimo de energía.

El objetivo final de la rehabilitación energética planteada pasa por:

- Mejorar las condiciones de confort de edificios existentes debido a que las temperaturas de la superficie interior de la envolvente térmica van a ser superiores.
- Descartar el peligro de condensaciones superficiales y el peligro de moho.
- La hermeticidad al aire evita la entrada de humedad en la construcción (condensación intersticial).
- Conseguir más confort térmico debido a que no hay movimientos de aire en las juntas constructivas (hermeticidad al aire).
- La ventilación controlada garantiza una calidad de aire superior, sobre todo en invierno. También, esta ventilación controlada evita humedades demasiado altas en el interior del edificio, problema fundamental en el clima de Asturias.
- Reducir el consumo energético hasta factores del 90%.

Además de ejecutarla de acuerdo al estándar Passivhaus, hemos querido dar un paso más allá, y plantear una rehabilitación basada en criterios de bioconstrucción. Para ello, se ha priorizado el uso de materiales de bajo impacto ambiental y el uso de materiales de acabados que no emitan sustancias nocivas al interior del ambiente y tengan una buena transpiración para conseguir un ambiente interior sano.

La distribución interior se adecúa al programa de necesidades de la propiedad, pero conservando en su mayor parte, la distribución principal de huecos originales de la vivienda. En planta baja, se conserva la distribución original según el esquema más frecuente de este tipo de arquitectura indiana, caracterizado por pasillo, en dirección norte-sur y con la escalera al fondo. En ella, se ubica el acceso principal a través de un hall de entrada y un distribuidor, y los espacios de uso de día, como son: la cocina, el comedor, el salón, un aseo, además de un cuarto para las instalaciones. La cocina y el comedor ocupan el ala este de la planta baja, tal y como están en la actualidad. En el ala oeste se sitúa el salón, para aprovechar la luz de la tarde. En la esquina noroeste, donde actualmente se encuentra un baño, se sitúa el cuarto de instalaciones y un pequeño aseo. En planta primera, se mantiene la disposición de pasillo en dirección Este-Oeste, y se adecúa la distribución a un funcionamiento más adecuado para las necesidades de un hotel. En ella, tenemos cuatro habitaciones, cada una con acceso independiente a un baño.

En planta bajo cubierta, tenemos tres habitaciones cada una con su baño. Las habitaciones ubicadas en los laterales poseen además un pequeño estudio con orientación sur.

Se recuperará el mobiliario y la decoración interior original de la época, adecuándola a los diferentes espacios de la vivienda.

## Prestaciones del Edificio

Las prestaciones del proyecto a nivel energético serían: demanda de calefacción y refrigeración muy baja cumpliendo con el estándar Enerphit; control de los valores de humedad entre 50-60%, aislamiento acústico hacia el exterior muy elevado, aislamiento entre estancias estudiado para minimizarlo, confort interior muy elevado con una calidad del aire óptima en todo momento. Se busca garantizar un ambiente interior confortable y sano para los futuros usuarios del hotel, con un consumo energético mínimo para los propietarios.



## MEMORIA CONSTRUCTIVA

La actuación que se plantea parte de una premisa: respetar y conservar las características de la arquitectura indiana asturiana presente en la vivienda objeto de proyecto. Además, la protección media del inmueble nos obliga a plantear la envolvente térmica por el interior de los muros de piedra existentes, manteniendo y recuperando al estado original la imagen exterior del inmueble.

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Estructuralmente la vivienda está compuesta por muros de carga de piedra en su perímetro y por muros interiores de fábrica de ladrillo macizo. Esta disposición determina funcionalmente la vivienda, con un pasillo central en planta baja de dirección norte-sur y la escalera al fondo, mientras que en planta primera el pasillo de comunicación cambia a este-oeste, dando así acceso a las dos galerías existentes en estas fachadas. Todos estos elementos se mantienen, dejando fuera de la envolvente térmica dichas galerías, ya que la sustitución de sus carpinterías por unas que cumplan las exigencias del Estándar Passivhaus desvirtuaría completamente su imagen.

Los forjados de entreplanta y de cubierta son de estructura de madera, como es habitual en los sistemas constructivos empleados en la arquitectura tradicional asturiana y se encuentran en buen estado de conservación, por lo que se mantiene dicha estructura siendo únicamente necesario algún refuerzo puntual en la cubierta. Al ser elementos lineales de madera, con baja conductividad térmica, puede realizarse la intervención por el interior, sin tener que desmontar todo el inmueble, ya que los puentes térmicos originados en estos encuentros son asumibles en el cálculo energético.

### Sistemas de Envoltentes y Acabados

Respecto a la envolvente térmica la intervención se realiza por el interior, principalmente mediante un aislamiento térmico de lana mineral que permite la transpirabilidad del cerramiento. Estas son las actuaciones concretas planteadas:

Sobre el suelo de planta baja:

- Solera ventilada sobre cúpulas de polipropileno tipo "Cáviti". La cara superior de la solera conforma la línea de estanqueidad al aire respecto a este plano de la envolvente.
- Aislamiento bajo pavimento de XPS de 10 cm de espesor y plancha de aislamiento con tetones en zonas de instalación de suelo radiante.
- Recrecido de mortero y pavimento de baldosa hidráulica.

Sobre los muros de fachada:

- Dos capas de aislamiento de lana mineral de 4 cm de espesor, con rastreles verticales aplomados mediante cuñas puntuales de madera, lo que permite que la primera capa de aislamiento sea casi continua.
- Tablero de OSB de 15mm, como base para colocación de lámina de estanqueidad al aire y reguladora del vapor (Sd variable 0,2 - 20m.) tipo Intello de Proclima, encintada mediante bandas adhesivas estancas.
- Capa de aislamiento de 4 cm de lana mineral, con rastreles de madera horizontales, como cámara de instalaciones y refuerzo de aislamiento.
- Acabado mediante placa de cartón-yeso y pintura interior.

Sobre la cubierta:

- Aislamiento entre viguetas existentes, mediante placa de lana mineral de 10cm de espesor.
- Sobre esta capa, hacia el exterior, tablero aislante de fibras de madera de alta densidad (270 kg/m3) de 52mm de espesor.
- Hacia el interior, respecto a la capa de aislamiento entre viguetas, tablero de OSB de 15mm, como base para colocación de lámina de estanqueidad al aire y reguladora del vapor (Sd variable 0,2 - 20m) tipo Intello de Proclima, encintada mediante bandas adhesivas estancas.
- Capa de aislamiento de 4 cm de fibra de madera, con rastreles de madera horizontales, como cámara de instalaciones y refuerzo de aislamiento.
- Acabado mediante placa de cartón-yeso y pintura interior.

Por otra parte, se sustituyen las carpinterías existentes de madera por otras del mismo material, pero con una transmitancia del marco mucho menor, y con triple vidrio, bajo emisivo y cámara de argón. Se rehabilitan las contraventanas de madera existentes para uso como protecciones solares.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### *Calefacción, Refrigeración y Ventilación:*

Respecto a las instalaciones, se plantea un sistema compacto de aerotermia que con una única máquina combina tres funciones térmicas: calefacción para el suelo radiante de la planta baja, generación de ACS para todo el edificio y climatización por aire para las habitaciones. Para la ventilación se propone un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor centralizado, ubicado en planta baja y que dará servicio a todo el edificio.

Como complemento a la calefacción y para cumplir con la normativa de turismo rural de Asturias, se plantea una estufa de biomasa en las zonas comunes de la planta baja. Ésta ha de ser estancia, y de baja potencia para adaptarse a las condiciones de un edificio pasivo.

### *Iluminación*

Se plantea la instalación de luminarias Led en todo el inmueble, con control de presencia en zonas comunes y control de uso e intensidad por parte del usuario en las habitaciones privadas. La iluminación exterior se elegirá cumpliendo con el criterio de VERDE A33 de contaminación lumínica para el área de protección en el cual nos encontramos.

### *Automatización y Control*

Se plantea una monitorización del funcionamiento del edificio respecto a: temperatura interior, humedad, CO<sub>2</sub>, consumo eléctrico y COVs.

### *Otros que se consideren*

Elección de aparatos sanitarios de bajo consumo de agua, siguiendo el criterio C01 del sello medioambiental VERDE para rehabilitación de edificios.

Dentro de la gestión y ejecución del proyecto, se ha incluido la realización de dos test de Blower Door para el control de las infiltraciones de aire cuyos resultados han de cumplir con el estándar Enerphit.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

Se estudió la posibilidad de integrar una geotermia para el abastecimiento de ACS y calefacción del inmueble. Pero dadas la demanda tan reducidas de calefacción del edificio y su no excesivo tamaño, se descartó por un incremento importante en el coste de la instalación. Se optó por una aerotermia.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Se trata de una inversión por parte de un promotor privado, y desde el primer momento el presupuesto de construcción debía de estar controlado y ajustado. El promotor realizó un estudio de viabilidad económica del proyecto y analizó el modelo de negocio que llevará a cabo en el inmueble mediante planes de promoción empresarial y emprendimiento en los que participó.

Se ha estimado, y así tienen contratado, un precio el m<sup>2</sup> de construcción de 980€/m<sup>2</sup> (sin incluir el IVA 10%). El proyecto se presentó a la convocatoria de ayudas del programa LEADER en el Oriente de Asturias del Programa de Desarrollo Rural 2014-2020 que son financiados por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), consiguiendo ser aprobado con la máxima puntuación gracias a los ahorros en eficiencia energética que se plantean y a las características de rehabilitación del proyecto. Esta ayuda va a permitir realizar todas las actuaciones previstas que en otro caso tendríamos que realizar en distintas fases.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

La certificación energética obtenida en proyecto es A. Las actuaciones contempladas para llegar a estos resultados se describen en el apartado de memoria constructiva.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	8,58 kWh/m <sup>2</sup> a
Demanda Calefacción:	6,78 kWh/m <sup>2</sup> a
Demanda Refrigeración:	0,30 kWh/m <sup>2</sup> a
Aporte Renovables:	
Emisiones CO2 Edificio:	1,59 kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> a

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El proyecto se plantea y así se está ejecutando para conseguir el certificado bajo el sello de rehabilitación Enerphit del estándar Passivhaus. A su vez, se está evaluando con la herramienta de Rehabilitación del certificado medioambiental VERDE. La certificación energética del edificio según el DBHE del CTE es A.

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 2. Estado Actual.



Figura 3. Estado Actual.

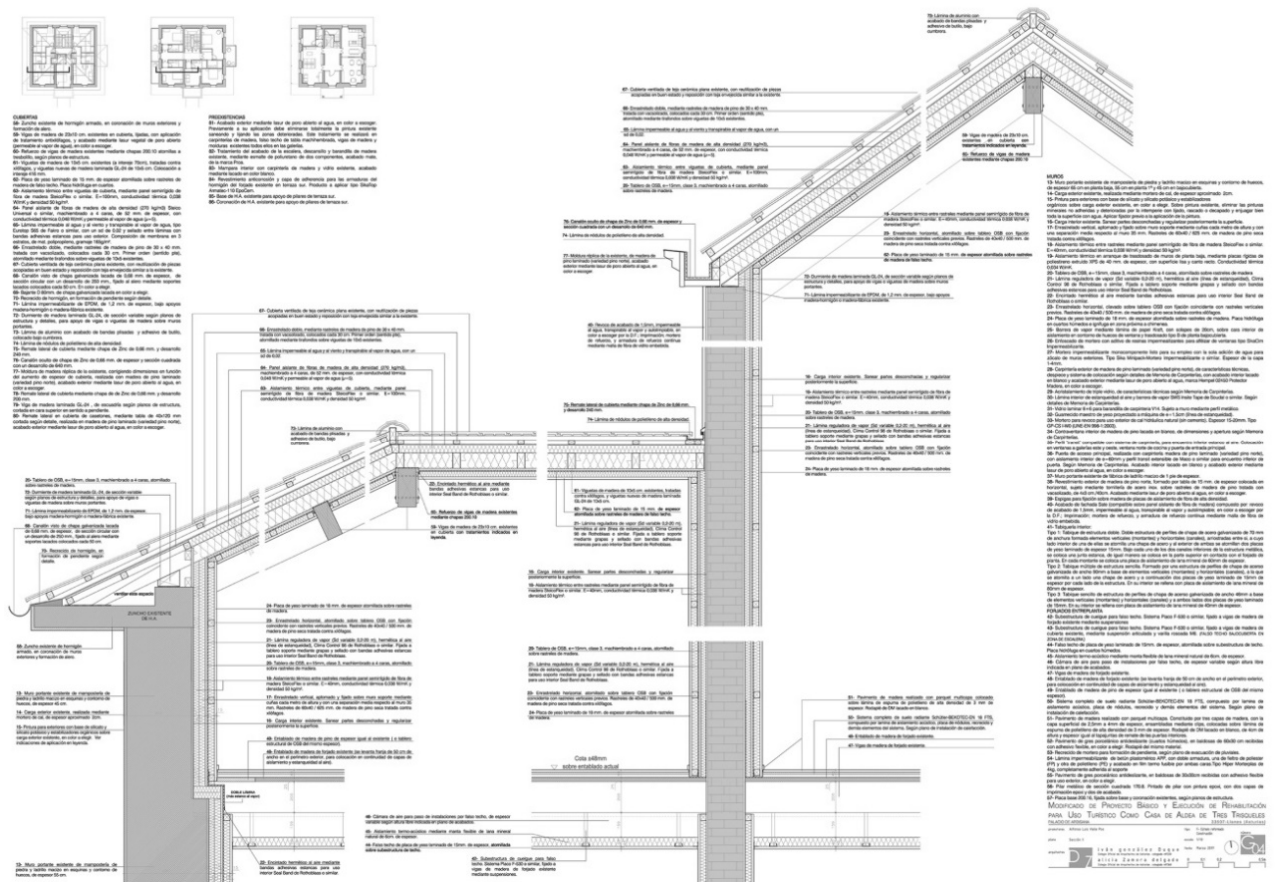


Figura 4. Detalles constructivos.

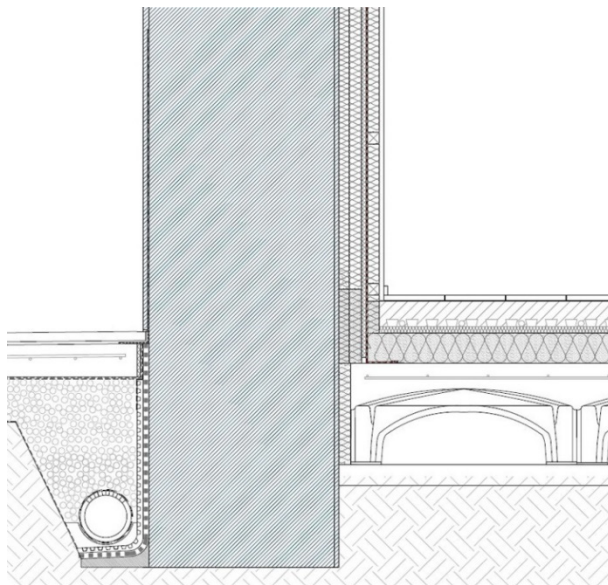


Figura 5. Detalle Constructivo: Encuentro fachada-planta baja.

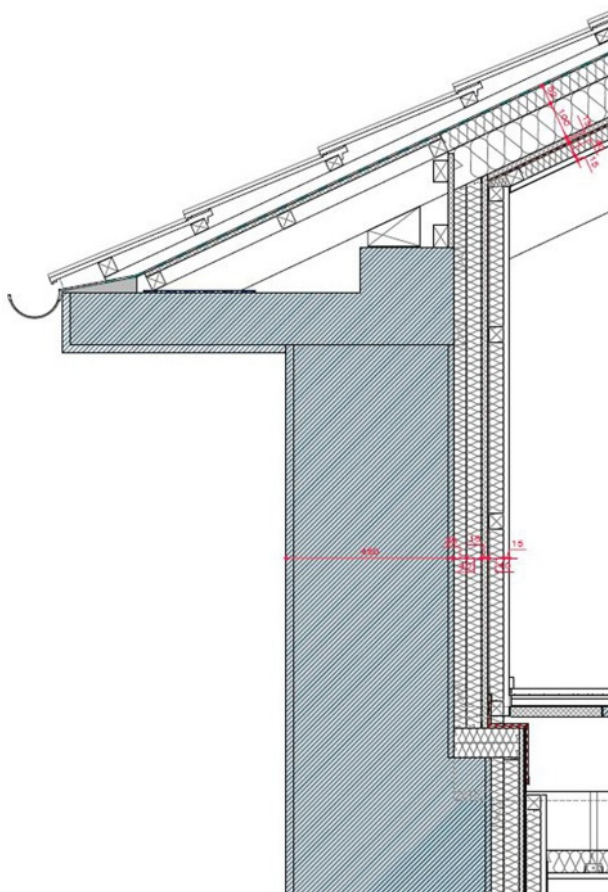


Figura 6. Detalle Constructivo: Encuentro fachada-cubierta.

## TORRE MARINA DE IBERDROLA INMOBILIARIA: ICONO DE EDIFICIOS DE OFICINAS DE ENERGÍA CASI NULA A GRAN ALTURA

**Resumen Proyecto:** Torre Marina Barcelona Fira District es un edificio de oficinas de nueva construcción situado en Barcelona, con una superficie de más de 25.000 m<sup>2</sup> repartidos en 17 plantas. Se exponen los vectores energéticos clave que han permitido la construcción de un EECN, además de un óptimo confort interior y la inmersión de la sostenibilidad en un edificio de oficinas de gran altura, avalado por el sello de sostenibilidad BREEAM con una calificación MUY BUENO. Calificación energética A, con emisiones de CO<sub>2</sub> de 23,5 kg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>año), un 66% menos que su edificio de referencia. Esto ha sido posible gracias a la conexión energética al District Heat&Cooling, las características óptico-térmicas de los vidrios en fachada, acceso a iluminación natural, iluminación artificial de alto rendimiento con VEEI de 1,46 W/m<sup>2</sup>/100 lx con un coeficiente de uniformidad mayor al 40%.



Figura 1. Torre Marina Barcelona Fira District en el complejo urbanístico de Iberdrola Inmobiliaria en Zona franca.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Distrito de Zona Franca de Barcelona
Uso Característico Edificio:	Oficinas & Locales comerciales
Zona Climática:	C2
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	20.285,81 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Fin obra en agosto de 2017

## MEMORIA DESCRIPTIVA

La Torre 4 es una construcción de 20.285,81 m<sup>2</sup> computables desarrollada en 14 plantas (PB + 13P) sobre rasante. Las tres primeras plantas (zócalo) de forma rectangular de 63,20 x 47,80 m. El resto de plantas está compuesto por un núcleo central de 11,30 x 18,40 m que incorpora la comunicación vertical de personas e instalaciones en su interior, rodeada por una superficie útil de oficinas de unos 940 m<sup>2</sup> por planta, hasta el perímetro de la fachada que es de 34,50 x 34,50 m y actúa además como segundo anillo estructural. La planta tipo está configurada de tal forma, que permite su utilización como una única oficina o dos unidades iguales de unos 470 m<sup>2</sup> cada uno.

## Agentes del Proyecto

- Promotor: IBERDROLA Inmobiliaria Patrimonio SAU
- Proyectistas: Arquitecturas Oscar Tusquets Blanca. S.L. / TDA Arquitectura y Urbanismo 2002
- Otros Técnicos Intervinientes: MASTER ingeniería y arquitectura, SA
- Otros Agentes:
  - o SGS Tecnos SA (Puesta en marcha instalaciones)
  - o NB-35 (Estructura)
  - o INTRA. S.L. (Movilidad Generada)
  - o JAPPSEN INGENIEURE (Transporte Vertical y Góndola)
  - o MIYABI (Eficiencia Energética)
  - o ROVIRA-BELETA (Accesibilidad)
  - o AUDIOSCAN (Acústica)
  - o SMDOS (Seguridad y Salud)
  - o ISOLANA AHORRO ENERGÉTICO (Sostenibilidad)
  - o Contratistas principales:
    - CONSCYTEC (Estructura y Acabados)
    - ELECNOR (Instalaciones)
    - GARCIA FAURA (Fachada)
    - LA INSTALADORA DE MONTAJES (Falsos techos)

## Antecedentes

El edificio se encuentra situado en la finca 1 del paseo de la Zona Franca nº 127 del distrito de Sants-Montjuïc de Barcelona. La finca de referencia tiene una forma rectangular y en ella se ubicarán cuatro torres de oficinas, tres de ellas de planta baja más 21 plantas y la cuarta, torre 4, de planta baja más 13 plantas. El presente proyecto contempla la construcción de uno de los cuatro edificios de oficinas proyectados, la Torre 4 Marina. Torre Auditori fue el primer edificio construido en el desarrollo urbanístico en 2013, también cuenta con alto desempeño energético que lo define como edificio de energía casi nula.

## Descripción del Proyecto

La torre 4 se diferencia de las otras tres principalmente por estar dividida en dos partes: las tres primeras plantas forman un zócalo pétreo macizo con las aberturas necesarias tratadas como muro cortina y la parte superior es un cubo que “flota” sobre este zócalo y está formado por una fachada modular acristalada de suelo a techo y unos aleros volados a modo de parasol revestidos de panel composite coloreado.

En la fase de diseño se han realizado proyectos de optimización energética del edificio utilizando la metodología *Life Cycle Cost* en diferentes posibilidades de diseño que han dado como resultado la versión más eficiente energéticamente de los requerimientos arquitectónicos del promotor. El confort interior también ha sido un factor clave en el diseño del edificio, analizando y optimizando los valores de confort térmico y acústico internos, así como la calidad del aire interior.

## Prestaciones del Edificio

Se ha desarrollado un Estudio de Viabilidad de Tecnologías bajas en carbono o Carbono cero a implementar en el edificio, cuyo resultado ha sido la conexión energética al District Heat&Cooling ECOENERGIES, que suministra energía térmica (agua caliente a 90°C, agua fría a 5°C, frío industrial a -10°C) en un área de 15.000.000 m<sup>2</sup> (el recinto ferial, plaza Europa, La Marina, la Gran Vía de L'Hospitalet, la Zona Franca, etc.) a varios tipos de clientes (residenciales, industriales, comerciales, etc.) gracias a una red de tuberías que suministra la energía térmica desde sus 3 centrales de producción hasta los edificios conectados de los clientes.

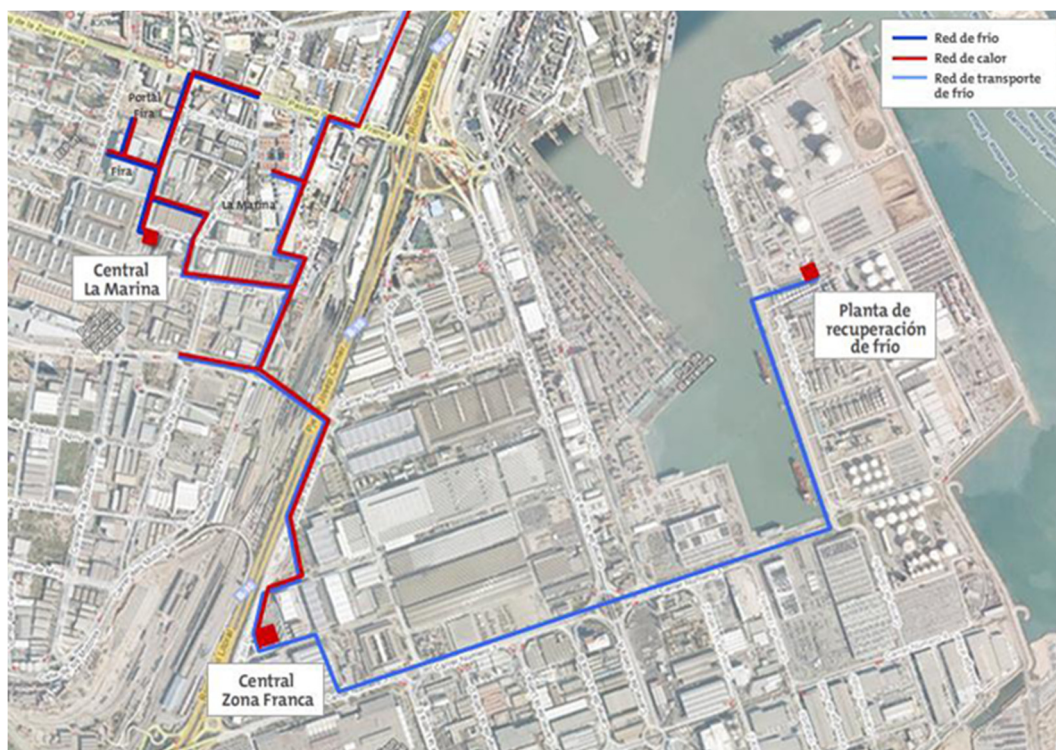


Figura 2. Desarrollo del District Heating&Cooling ECOENERGIES.

Otro factor energético muy a tener en cuenta es la fachada modular del edificio, con un reducido coeficiente de transmisión térmica, y unas propiedades ópticas de transmisión visible y factor solar adecuados para cada orientación solar. De esta manera conseguimos unos ratios muy altos de superficie iluminada naturalmente, mientras que para la iluminación artificial se ha provisto de tecnología de bajo consumo y sistemas de control eficientes con un índice de VEEI muy inferior al límite máximo exigido en CTE ( $1,63\text{W}/\text{m}^2/100\text{ lx} < 3,0$ ).

El edificio presenta un consumo de energía primaria anual de  $95,30\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{año})$  y una emisión de  $\text{CO}_2$  anual de  $23,50\text{ kgCO}_2/(\text{m}^2\text{año})$  lo que significa una reducción del 66% respecto de un edificio de referencia, habiéndose obtenido la calificación energética "A" con un índice muy por debajo del máximo exigido ( $0,34 < 0,40$ ).

La Puesta en Marcha de las instalaciones ha sido un factor muy importante a la hora del diseño y construcción del edificio, dadas las grandes ventajas que provoca y eliminación de errores de funcionamiento del edificio. Se han seguido los protocolos de mejores prácticas contando con un equipo de Gestión especialista de Puesta en Marcha, la empresa *SGS Tecnos SA*, supervisando, monitorizando y programando las actividades previas a la puesta en servicio, la puesta en servicio y la repetición de las pruebas de funcionamiento de todas las instalaciones del edificio a diferentes cargas estacionales.



## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Sistema estructural del núcleo central de base cuadrada de hormigón armado de 60 cm de espesor en las primeras plantas y de 40 cm. de espesor en las restantes.

El podium (plantas baja, 1ª, 2ª y 3ª) está formado por forjados reticulares teniendo en cuenta que una parte del forjado de planta tercera (a ambos lados de la torre, sur-este y sur-oeste) será una losa maciza postesada. El forjado de planta 4ª es en su totalidad otra losa maciza postesada. Los forjados desde planta 5ª a planta 13ª serán forjados reticulares. Los forjados de planta 14ª y superiores serán losas macizas.

### Sistemas de Envolventes y Acabados

La envolvente del edificio se compone de un muro cortina optimizado energéticamente, por lo que los ratios de zonas iluminadas naturalmente superan los ratios de la construcción de oficinas de referencia, ofreciendo a los usuarios del edificio un lugar de trabajo con un confort lumínico y de vistas al exterior sobresaliente. Además el diseño específico de los vidrios del muro cortina evitan el deslumbramiento y maximizan el ahorro energético.

Las fachadas, poseen tratamientos diferentes dependiendo de su orientación solar y su posición respecto al conjunto de los otros edificios. Los vidrios tienen mayor transmisión luminosa y factor solar en orientación Norte y menor hacia el sur para mejorar la eficiencia energética y tener confort visual. El conjunto de las fachadas se ha resuelto con un sistema modular del fabricante alemán "Shüco". Todos ellos poseen fachada tipo muro cortina de aluminio con una proporción vidriada cercana al 50% en las plantas del cuerpo superior (Planta 4ª a 13ª). Mientras que en las plantas del zócalo inferior se resuelve con Fachada ventilada hormigón polímero macizado en planta baja y aislamiento térmico de lana mineral.

### Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

A la hora de prescribir las máquinas de clima se ha tenido en cuenta la contaminación atmosférica que supone la instalación de diversos refrigerantes, minimizando la posible contaminación por el tipo de refrigerante instalado y evitando sus fugas, siendo el agua el único refrigerante utilizado por el edificio.

#### *Calefacción y Refrigeración*

La producción de frío y calor para la climatización del edificio es externa al mismo y pertenece a la empresa ECOENERGIES. En un futuro esta producción urbana de energía se obtendrá de la energía del sistema de generación de energía térmica centralizada "LA MARINA", en la actualidad se alimentará de una subestación de generación de energía de biomasa propiedad de la empresa distribuidora.

La instalación de climatización se resuelve a base de fancoils a 4 tubos distribuidos por las oficinas, los cuales obtienen la energía térmica de la red urbana de frío y calor. En la planta sótano dos es donde se ubica la sala de intercambiadores y grupos de bombeo para la obtención de dicha energía y poder así distribuirla por todo el edificio. En el circuito secundario se disponen grupos de bombeo para distribuir el frío y el calor por el edificio. El sistema es a caudal variable a través de sondas de presión diferencial entre la impulsión y el retorno de cada circuito.

#### *Ventilación*

Los vestíbulos de las plantas no se climatizan, pero se atemperan y ventilan con aire procedente de los climatizadores de aire primario. La planta baja cuenta con un sistema de fancoils para las zonas de vestíbulos y climatizadores de baja silueta a 4 tubos para vestíbulos y accesos al edificio (ubicados en falso techo de planta baja), los cuales reciben aire primario de los climatizadores situados en planta 14 y P3 respectivamente para cada zona de vestíbulo.

Se disponen unidades de tratamiento de aire con la función de filtrar, enfriar, calentar y renovar el aire del local al que alimentan para conseguir las condiciones adecuadas de calidad de aire interior. Se montan compuertas de regulación auto mecánicas, para equilibrar los caudales entre las distintas plantas. Iluminación

Todos los elementos de la instalación de iluminación son de alta eficiencia, optimizando así el ahorro energético en iluminación. Se han instalado sensores de presencia en las zonas comunes y dispositivos de control de la iluminación en función de la luz natural existente (Daylights).

### Automatización y Control

Se instala un SGE (Sistema Gestión del Edificio), con monitorización y salidas individuales para los sistemas de Calefacción, Agua Caliente Sanitaria, Humidificación, Refrigeración, Ventiladores (principales), Baja Potencia (consumo de la iluminación y de elementos de baja potencia ya que la energía se suministrará a cada piso o departamento), Otros elementos con un consumo importante de energía en su caso (Humidificadores eléctricos con Potencia > 10 KW).

ECOENERGIES dispone un cuadro de control para gobernar todo el primario y la relectura de contadores de energía de cada oficina.

Los consumos eléctricos se desglosan gracias a los analizadores de redes que se instalan en cada cuadro eléctrico que tienen conexión con el Sistema de Gestión Centralizado del Edificio.

Se ha dotado al edificio de contadores auxiliares accesibles que cubren el suministro de energía de cada zona de uso, siendo las zonas relevantes del edificio las plantas de oficinas.

### Energías Renovables in situ o en el entorno

Se ha desarrollado un Estudio de Viabilidad de Tecnologías bajas en carbono o Carbono cero a implementar en el edificio. Se analizan diferentes aspectos del edificio, tanto de la envolvente térmica como de las instalaciones consumidoras de energía del edificio, evaluando la repercusión energética que conllevan cada uno de los elementos evaluados, y calculando los posibles ahorros energéticos que suponen la prescripción de las Tecnologías Bajas en Carbono más idóneas según los requerimientos del proyecto. Los diferentes Tecnologías bajas en carbono analizadas son:

- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar térmica
- Energía minieólica
- Conexión District Heating & Cooling (DHC)

Los resultados de energía renovable generada obtenidos para cada tecnología baja en carbono según el combustible no consumido son los siguientes:

Tecnología Baja en Carbono	Electricidad [kWh/año]	Gas Propano [kWh/año]
Energía Eólica	31.467,24	
Energía fotovoltaica	80.686,18	
Energía Solar térmica		308.949,80
Energía ahorrada DH&C	360.038,02	143.338,60

Tabla I. Resultados del Estudio de Viabilidad de Tecnologías bajas en carbono.

La conexión energética al Distric Heat&Cooling ECOENERGIES es la solución más eficiente. Un proyecto cuyo principal compromiso es la preservación del medio ambiente: mejora sustancial de la eficiencia energética y reducción importante de las emisiones de CO<sub>2</sub>, NOx y PM10, valorización de los residuos vegetales, originados en el mantenimiento de los parques y jardines con un complemento de biomasa forestal, y aprovechamiento del frío residual del proceso de regasificación en la planta del Puerto (hasta 30 MW). Una central de diseño moderna y representativa de las energías renovables utilizadas.

### PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto aproximado del proyecto es de 10.000.000 €.

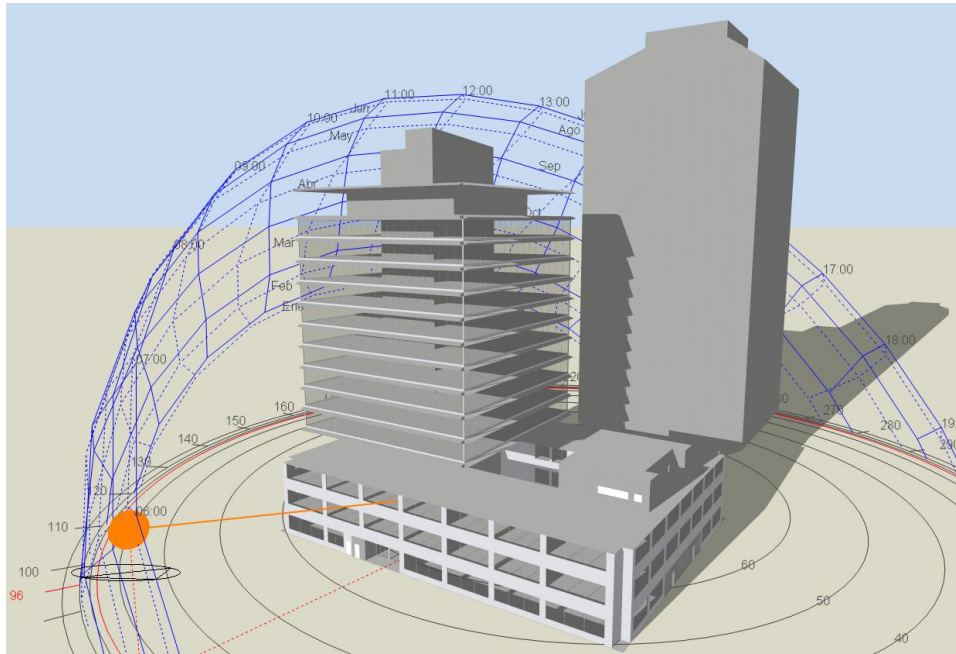


Figura 3. Render del análisis mediante simulación energética.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	95,3 kWh/(m <sup>2</sup> año)
Demanda Calefacción:	37,7 kWh/m <sup>2</sup>
Demanda Refrigeración:	33,0 kWh/m <sup>2</sup>
Aporte Renovables:	0%
Emisiones CO2 Edificio:	23,5 kg CO2/m <sup>2</sup>
Calificación energética:	A

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El edificio ha logrado un nivel de certificación MUY BUENO en el sello de sostenibilidad BREEAM ES.

El certificado de sostenibilidad BREEAM es uno de los métodos de evaluación y certificación de la construcción sostenible técnicamente más avanzado y compila herramientas y procedimientos que miden, evalúan y ponderan los niveles de sostenibilidad tanto en fase de proyecto como en fase de ejecución y mantenimiento.

El impacto positivo que la certificación BREEAM proporciona a TORRE MARINA se puede resumir en una mejora de la gestión medioambiental, aumento de la satisfacción, mayor bienestar y productividad de los usuarios del edificio, mejora de la funcionalidad y flexibilidad del inmueble, alargamiento de la vida útil del edificio, reducción de los gastos de explotación y mantenimiento que soportan nuestros inquilinos y una disminución sustancial de la factura energética y de la emisión de CO<sub>2</sub>, todo ello propicia el aumento del valor del inmueble y los ingresos de rentas por arrendamiento, potenciando así una alta tasa de ocupación.

## IMÁGENES PROYECTO



*Figura 4. Render Torre Marina.*



*Figura 5. Imagen edificio real Torre Marina.*



*Figura 6. Sala de conexión al DH&C.*

## ALMIRANTE CADARSO 33: REHABILITACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICIO RESIDENCIAL EN EL ENSANCHE DE VALENCIA

**Resumen proyecto:** Presentamos el análisis del proyecto de rehabilitación integral de un edificio protegido de uso residencial, situado en pleno Ensanche de Valencia. El objetivo es conseguir una solución de envolvente e instalaciones cuyas prestaciones energéticas sean iguales o superiores a las del óptimo económico en el ciclo de vida del edificio. Para ello el promotor, el equipo de arquitectura y el constructor han trabajado coordinadamente. El proceso consta de tres fases: 1) se ha elegido la solución de envolvente e instalaciones mediante la utilización del método del coste óptimo, y para ello se ha modelizado el edificio en TRNSYS y se ha utilizado un perfil de ocupación que se ha considerado más aproximado al real que el del CTE 2013; 2) una vez construido el edificio, se calibrará el modelo energético a partir de una prueba de infiltración mediante el ensayo de puerta soplante, el análisis termográfico de la envolvente y la determinación del rendimiento real de las instalaciones de climatización; y 3) una vez ocupado el edificio, se monitorizará la utilización real del mismo así como sus consumos energéticos y se compararán éstos con los previstos en la simulación, volviendo a calibrar el modelo; esto permitirá definir estrategias optimizadas de operación del edificio, y realizar una previsión muy ajustada de los consumos para cada una de ellas. El Proyecto tiene licencia municipal de obras, estando previsto el inicio de las mismas para la primera quincena de Octubre de 2017 y su finalización, tras 14 meses de ejecución, para finales de 2018.



Figura 1. Situación y fachada principal en su estado actual.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Almirante Cadarso 33. 46005. Valencia.
Uso Característico Edificio:	Residencial
Zona Climática:	B3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación integral.
Superficie Total Construida:	2.050,05 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	<i>Inicio de las obras en octubre de 2017</i>

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: José Ribes (RIMONTGO)
- Proyectista y Dirección de Obra: José Martí (ERRE ARQUITECTURA) y José Luna (ERRE ARQUITECTURA)
- Ingeniería: Rafael Pérez (ADYPAU)
- Análisis Energético: Luis Irastorza (EDIFESA), Alberto Soriano (EDIFESA), Jordi Pascual (AIGUASOL), Oriol Gavaldá (AIGUASOL)
- Constructora: EDIFESA

### Antecedentes

La Comisión Europea aprobó el pasado 30 de noviembre de 2016 el denominado Paquete de Invierno, con el que la UE pretende dar respuesta a los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París de 2015. Dicho paquete legislativo está en fase de tramitación para su aprobación por el Parlamento Europeo, lo que razonablemente ocurrirá a lo largo de 2018 o principios de 2019, y el mismo propone, entre otras medidas, un aumento de las exigencias de la Directiva 2010/31 de Eficiencia Energética en la Edificación.

A su vez, por exigencia de dicha Directiva Europea, es necesario que todos los edificios de titularidad pública que se construyan a partir de 2019 sean de consumo casi nulo de energía, fecha que se retrasa hasta 2021 para los edificios de titularidad privada.

### Descripción del Proyecto

Obra de rehabilitación integral de un edificio de viviendas. Únicamente se mantiene la fachada principal, protegida, demoliéndose completamente el resto del edificio existente. Son ocho viviendas, distribuidas de plantas primera a cuarta, y una vivienda ático. En planta baja hay un local comercial y zonas comunes con espacio ajardinado y piscina. Aparcamiento para 12 vehículos en planta semisótano, con ventilación natural. En total tenemos 1637,36 m<sup>2</sup> construidos sobre rasante, y 412,69 m<sup>2</sup> bajo rasante.

En el momento de redactar esta ponencia, el Proyecto tiene licencia municipal de obras, estando previsto el inicio de las mismas para la primera quincena de Octubre de 2017 y su finalización, tras 14 meses de ejecución, para finales de 2018.

### Fundamentos de la solución arquitectónica elegida

En el caso de este Proyecto el promotor ha tomado la decisión de escoger una solución algo más eficiente que la exigida por el Código Técnico de la Edificación (CTE) e incluso que la que deriva de la aplicación del óptimo económico en el ciclo de vida del edificio, y todo ello por las siguientes razones: 1) es claro que los niveles de exigencia normativos van a ir aumentando a lo largo de los próximos años, empezando por la revisión del CTE, prevista por la Dirección General de la Vivienda del Ministerio de Fomento para 2018, lo que supondría que de cumplir estrictamente con los requerimientos del actual CTE 2013 el edificio estaría fuera de norma la práctica totalidad de su vida útil; 2) el promotor quiere que este edificio constituya una referencia en cuanto a sus prestaciones y desea adquirir conocimiento y experiencia en el diseño de edificios altamente eficientes; 3) el promotor cree que podrá repercutir en el precio de venta el sobrecoste de construcción que el edificio tendría sobre uno que cumpliera estrictamente con el CTE 2013

En este Proyecto se comparan los consumos estimados con el modelo de simulación con los consumos reales, a partir en ambos casos del perfil real de ocupación, cuya determinación requiere de una monitorización del edificio una vez ocupado y durante un periodo prolongado de tiempo.

A este respecto, el documento RECOMENDACIÓN UE 2016/1318 DE LA COMISIÓN, de 29 de julio de 2016, SOBRE LAS DIRECTRICES PARA PROMOVER LOS EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO recoge en su Apartado 2.1.1, párrafo último, que *"...hay estudios según los cuales es frecuente que ni los edificios nuevos ni los renovados alcancen la eficiencia energética proyectada. Es preciso por ello establecer mecanismos que permitan calibrar el cálculo de la eficiencia energética con el uso de energía real"*.

El CTE 2013 establece requerimientos para las prestaciones energéticas a partir de cálculos teóricos realizados con el modelo LIDER CALENER, que toma por defecto valores concretos para la envolvente del edificio y para el rendimiento de las instalaciones. Asimismo, el perfil de ocupación utilizado por el CTE 2013 es muy diferente al de utilización habitual de los edificios, especialmente de uso residencial, por lo que se propone un perfil de ocupación teórico bastante diferente y que se considera más aproximado a la realidad.

En la revisión del CTE prevista para el año 2018, tampoco está previsto que vaya a recoger verificación alguna del funcionamiento real del edificio o bien requerimientos prestacionales. Lo que realmente interesa al usuario es la estimación de los consumos reales del edificio en operación, siendo dichos consumos esenciales para poder determinar la solución del óptimo económico en su ciclo de vida.

Para ello, el modelo energético del edificio debe ser calibrado una vez construido el mismo mediante la realización de determinadas pruebas físicas, como una prueba de infiltración para determinar su estanqueidad real, un análisis termográfico para ajustar los valores de los puentes térmicos de la envolvente y un análisis del rendimiento de las instalaciones en operación. También debe ser ajustado el perfil de ocupación mediante una monitorización del edificio una vez terminado y en uso.

## Descripción de la metodología utilizada en la determinación de la solución elegida y resultados obtenidos

La metodología utilizada es el método del coste óptimo recogido en el Reglamento Delegado (UE) nº 244/2012 de la Comisión de 16 de Enero de 2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE de Eficiencia Energética en la Edificación así como en las Directrices que le acompañan.

Se ha utilizado un perfil de ocupación que se considera más realista que el recogido en el CTE 2013, que consiste en establecer unas determinadas temperaturas de consigna entre las 18 h y las 24 h y que varían en función de si los sistemas utilizados son de suelo radiante o convectivos. Dichas temperaturas de consigna son: temperatura mínima de 18°C para suelo radiante y 20°C para sistemas convectivos y temperatura máxima de 25°C.

Es importante señalar que, en el cálculo de los valores de referencia del CTE (valores relativos de energía por unidad de superficie), se contabiliza la superficie habitable tal como se define en el apéndice A del DB HE1. Nuestra simulación dinámica solo contempla la superficie climatizada, que es un 25% menor en este caso.

Los consumos estimados que derivan del perfil de ocupación utilizado son algo inferiores a los obtenidos a partir de los valores prescritos por el CTE 2013. Se ha utilizado el primero de ellos al considerar que es más aproximado al uso real del edificio, lo que ha permitido la utilización de la metodología del coste óptimo con mayor consistencia a la hora de definir la solución de envolvente e instalaciones.

Partiendo de una solución base que cumple estrictamente con el CTE 2013 y de una modelización del edificio en TRNSYS, se analizan las siguientes soluciones de envolvente: incremento y disminución de aislante en fachada y cubierta, colocación de persianas en fachada, utilización de diferentes tipos de vidrio, utilización de sistema de recuperación de calor en la envolvente, operación de las persianas en época estival y modificación de las temperaturas de consigna (20°C y 21°C en invierno con “*setback*” nocturno de 18°C, 24°C y 23°C en verano cuando la temperatura exterior es superior a 26°C y “*free cooling*” nocturno).

Los sistemas de producción analizados han sido los siguientes

- Sistema 1: Producción centralizada, combinación de geotermia y aerotermia (SISTEMA MIXTO)
- Sistema 2: Producción centralizada, todo geotermia
- Sistema 3: Producción individual, sistema aire-agua
- Utilización de energía fotovoltaica, con una superficie de 75 m<sup>2</sup> y 11,96 kWp, únicamente en combinación con los sistemas 1 y 2
- Además de los sistemas de producción, se ha analizado la ventilación y la calidad de aire interior, comparando un sistema VMC (Ventilación Mecánica Controlada) individual con recuperador de calor de alta eficacia y “*free cooling*”, con un sistema centralizado y sin recuperación que dé cumplimiento al CTE.



Para la estimación de los costes de construcción, se utiliza información procedente de la base de datos de la empresa constructora y ofertas específicas de industriales que han colaborado en el estudio. La solución escogida y considerada como óptima se ha denominado EDIFICIO NZEB, describiéndose en detalle en el apartado siguiente de este documento.

A continuación se representan los resultados obtenidos para las diferentes alternativas analizadas en los siguientes tres gráficos



Figura 2. Inversión inicial vs Consumo de energía primaria no renovable a 20 años.

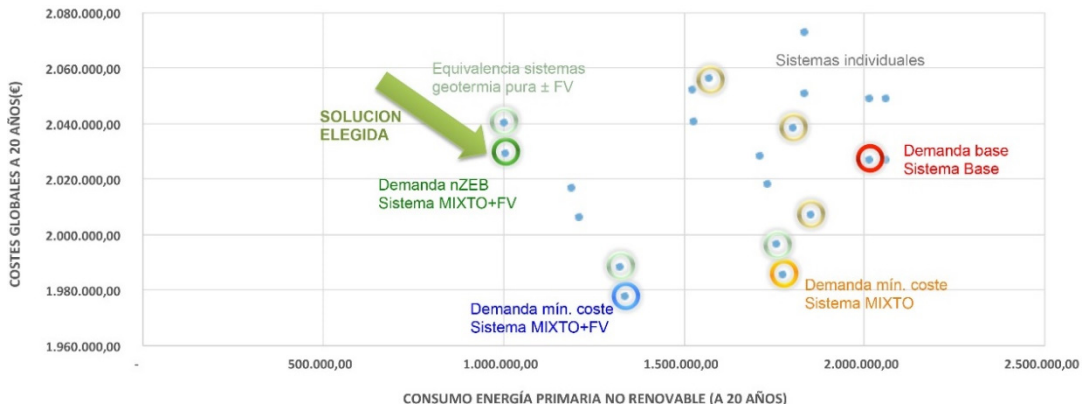


Figura 3. Costes globales (consideran la inversión inicial y los gastos de operación y mantenimiento) vs consumo de energía primaria no renovable a 20 años.

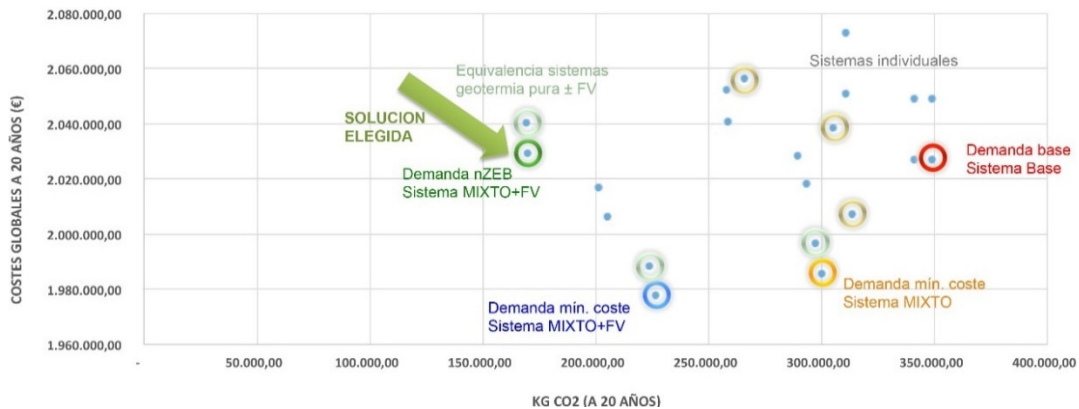


Figura 4. Costes globales vs emisiones de CO<sub>2</sub> en 20 años.

Si comparamos las prestaciones energéticas, el coste global en el ciclo de vida, el coste de inversión y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la solución elegida con los valores correspondientes a la solución del coste global mínimo en el ciclo de vida, podemos concluir lo siguiente

- Las prestaciones energéticas de la solución elegida son muy superiores a la solución de coste global mínimo al ser inferior su consumo de energía primaria no renovable en un 25% en el ciclo de vida del edificio (1.003 MWh y 1.333 MWh, respectivamente)
- El coste global del edificio en su ciclo de vida para la solución elegida es de un 2,6% superior a la del coste global mínimo (2,030 M€ y 1,978 M€, respectivamente)
- El coste de inversión inicial del edificio de la solución elegida es un 3,9% superior al valor correspondiente para la solución de coste global mínimo y de un 4,7% superior a la de coste mínimo de inversión inicial (1,615 M€, 1,555 M€ y 1,543 M€, respectivamente)
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del edificio correspondientes a la solución elegida son un 25% superiores a las del coste global mínimo (170 tCO<sub>2</sub> y 227 tCO<sub>2</sub>, respectivamente)

Por tanto, la solución elegida tiene un coste ligeramente superior a la de coste mínimo de inversión (+4,7%) y a la de coste global mínimo (+2,6%) pero presenta unas prestaciones energéticas muy superiores (25% de ahorro energético) a las mismas, así como unas emisiones de CO<sub>2</sub> muy inferiores (25%). Las razones de su elección han sido explicadas en detalle en el Apartado anterior.

Una vez construido el edificio, está previsto realizar una calibración de los parámetros utilizados en el modelo de simulación energética del mismo a partir de los ensayos de puerta soplante ("*Blower Door*") para medir la estanqueidad del edificio, el análisis termográfico de la envolvente para ajustar los valores de los puentes térmicos utilizados en la simulación y la medición del rendimiento real de las instalaciones de climatización en operación.

Los resultados de los anteriores ensayos de la envolvente y de las instalaciones deben permitir calibrar el modelo de simulación energética, ajustándolo al comportamiento real del edificio.

A su vez, una vez ocupado el edificio y transcurrido un cierto tiempo para permitir que se establezca razonablemente su funcionamiento, está previsto monitorizar el mismo durante un periodo de nueve meses, que incluiría las estaciones de verano, invierno y una de las intermedias, ya sea primavera u otoño.

La monitorización del edificio permitirá conocer el perfil real de ocupación, las temperaturas reales de diferentes partes del edificio y los consumos para cada una de las instalaciones. Para ello habrá que colocar sensores en diferentes partes del edificio que permitan su lectura de forma continua y remota. Está también prevista la utilización de una estación meteorológica en la cubierta del edificio con el objeto de tener las condiciones de contorno de una forma más precisa.

A partir de los datos obtenidos en la monitorización del edificio, se pretende calibrar el modelo de simulación de forma precisa con el objeto de conseguir una concordancia lo mayor posible entre los datos estimados por el modelo y los medidos, tanto en cuanto al comportamiento del edificio como al consumo energético. Ello permitirá establecer estrategias de operación del edificio en un sistema de control para optimizar el funcionamiento del mismo, pudiendo estimar con una precisión razonable los costes de cada una de dichas estrategias.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La cimentación del edificio está formada por una losa armada y la estructura es de hormigón, reforzándose los pilares medianeros de ladrillos, que se mantienen, con perfiles metálicos.

## Soluciones de envolvente y sistemas que definen el EDIFICIO NZEB

### **Cerramientos de fachada y cubiertas**

Fachada protegida de ladrillo macizo, de unos 25cm de espesor, revestido de mortero y pintura. Se implementa un aislamiento de 6 cm de espuma de poliuretano más 6cm de lana mineral, obteniendo una transmitancia media de 0,245 W/m<sup>2</sup>K.

En cubiertas, se proyecta aislamiento de poliestireno extruido de 16 cm (12 cm en la terraza del ático) hasta una transmitancia media de 0,189 W/m<sup>2</sup>K (0,227 W/m<sup>2</sup>K para el ático).

### **Carpinterías de las fachadas**

Carpinterías de aluminio con RPT, de altas prestaciones.

Puertas abatibles: Transmitancia U= 1,36 W/m<sup>2</sup>K. Factor solar g=0,49. Vidrio: Doble cámara con argón, y doble vidrio laminado interior y exterior. 4+4 / 14+4+14 / 4+4

Puertas Correderas: Transmitancia U=1,60 W/m<sup>2</sup>K. Vidrio: Doble cámara con argón, y doble vidrio laminar interior y exterior 4+4 / 6+4+6 / 4+4

### **Sistemas HVAC**

Uno de los aspectos críticos del proyecto, fue decidir que la producción de energía para climatización fuese centralizada. Además de optimizar los recursos, permite la posibilidad de introducir la energía fotovoltaica como fuente de energía renovable conectada al sistema. Se satisfacen las demandas de climatización, frío y calor, y ACS. Se analizaron sistemas de producción mediante energía geotérmica y aerotérmica, considerándose el óptimo económico un sistema mixto de condensación por GEOTERMIA Y AEROTERMIA, cubriendo la Geotermia la demanda de energía durante el 80 % de las horas, y utilizándose la aerotermia para los picos de producción, necesario especialmente para refrigeración en época estival.

Calefacción mediante suelo radiante. Distribución en doble espiral con tubería multicapa 17mm, y sistema de control independiente por vivienda.

Refrigeración mediante “fancoils”. Dos equipos por vivienda, zona de día y zona de noche. Los “fancoils” pueden utilizarse como apoyo al sistema de calefacción en invierno, para un calentamiento rápido en los arranques del sistema, tras una ausencia de varios días, por ejemplo.

### **Ventilación**

Cumplimiento del DB HS3 mediante ventilación comunitaria sin recuperación. El estudio de coste óptimo desaconsejó la instalación de equipos individuales con recuperación de alta eficiencia. Hay que señalar que tras la publicación del FOM/588/2017 de 15 de junio, la incidencia de la ventilación en la calificación energética de las viviendas es mucho menor.

### **Sistema de gestión centralizada**

Para poder conocer y, sobre todo, conducir de un modo eficiente el edificio, se instalará un sistema de seguimiento y control de los consumos de los equipos de producción centralizada de energía (agua caliente y fría para climatización y ACS), y se contrastará con la energía producida por los citados equipos. De este modo podremos conocer su rendimiento real en todo momento y de qué modo mejorarlo mediante el ajuste de las consignas de uso.

Se medirá el consumo eléctrico del sistema en su conjunto, incluidos los equipos auxiliares (bombas de circulación, actuadores y todos los elementos que forman parte del sistema), y se recogerán los datos de los contadores individuales de vivienda, pudiendo de este modo tener información de las pérdidas en distribución (lo que indirectamente es un control sobre el mantenimiento de los aislamientos de las canalizaciones).

Se instalará un servidor web para facilitar el acceso remoto a la información, mediante protocolo BACnet o Modbus. También se instalará una estación meteorológica en cubierta del edificio como referencia a todos los sistemas.

**Domótica para el control energético en viviendas**

La domótica a instalar está ideada para que el usuario conozca y sea consciente del consumo energético que está realizando, lo que influirá de forma muy positiva en su comportamiento. Comprende una unidad central de control por vivienda, sondas de temperatura y actuadores para control de la climatización, así como la contabilización de consumos energéticos y eléctricos por separado. El sistema se basará en el estándar KNX. Se podrá consultar y gestionar de forma local o de forma remota desde el teléfono móvil del usuario.

**Energías Renovables in situ o en el entorno****Instalación de paneles fotovoltaicos**

La producción de energía fotovoltaica está diseñada para alimentar el sistema de producción centralizada de climatización. Se utilizará el sistema de acumulación solar para ACS como modo de almacenar la energía excedente que podría existir en los períodos de entretiempo, en primavera y otoño, en los que no exista demanda de calefacción ni refrigeración. Superficie de instalación considerada: 75 m<sup>2</sup>. Potencia instalada: 11,96 kWp en 46 Paneles de 260Wp de potencia. Unidad inversora 12 kW 400V / 50 Hz. No hay baterías de acumulación.

**Instalación de Geotermia**

Instalación de campo de captadores con una potencia de 30 KW, con sonda geotérmica tipo DCL . Ensayo TRT realizado. Bomba de calor geotérmica con capacidad de hasta 120 KW en calor, y recuperador de 20 KW. Como se ha comentado, se instalará un aerotermo de apoyo, de 100 kW, para la energía que no sea capaz de disipar el sistema geotérmico.

**PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

El Presupuesto de Ejecución por Contrata de la solución elegida del edificio (solución denominada NZEB) es de 1.615.000 €, precio que ha sido cerrado entre el promotor (RIMONTGO) y la constructora adjudicataria (EDIFESA) en un documento contractual de ejecución de obras. Dicho coste se divide en un 1.190.000 € (73,7%) para la obra civil y 424.000 € para las instalaciones (26,3%). Teniendo en cuenta que la superficie construida es de 1.526 m<sup>2</sup> sobre rasante, 112 m<sup>2</sup> de locales comerciales y 413 m<sup>2</sup> bajo rasante, los ratios del precio de ejecución por contrata de la rehabilitación integral de este edificio son de 891 €/m<sup>2</sup>, 475 €/m<sup>2</sup> y de 490 €/m<sup>2</sup>, respectivamente.

El sobrecoste de la solución elegida (solución NZEB) es 72.000€ superior (+4,7%) a la solución de mínimo de inversión y que cumple con los requerimientos del CTE 2013, lo que equivale a un sobrecoste de 47 €/m<sup>2</sup> de la edificación sobre rasante. De dicho sobrecoste, se estima que alrededor de un 40% se ahorrará a lo largo de los próximos 20 años. Dado que el promotor, tras un detallado estudio de mercado, tiene pensado vender en una horquilla entre los 4.200 y los 4700 €/m<sup>2</sup>, dicho sobrecoste representa alrededor del 1% del precio de venta y está plenamente convencido de que va a ser capaz de repercutirlo a los futuros compradores de las viviendas.

**CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA**

En el presente proyecto hemos trabajado con criterios prestacionales, distintos de los utilizados en los programas de calificación del CTE. En la tabla de indicadores presentamos los valores obtenidos en nuestro estudio estimados con criterios normativos (perfil de ocupación, superficie habitable y parámetros por defecto según CTE 2013). Con la aportación de las energías renovables diseñadas, los resultados de consumo de energía primaria no renovable y emisiones de CO<sub>2</sub> nos muestran valores claramente por debajo de los límites exigidos para una CALIFICACIÓN ENERGÉTICA A.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	11,61 kWh/m2año
Demanda Calefacción:	4,90 kWh/m2año
Demanda Refrigeración:	8,04 kWh/m2año
Aporte Renovables:	13.320 kWh/año
Emisiones CO2 Edificio:	1,97 kg CO2/m2año

# EXPERIENCIA DE PROYECTO Y EJECUCIÓN DE 361 VIVIENDAS DE PROMOCIÓN PÚBLICA EN ALTURA Y RESPONDIENDO AL ESTÁNDAR PASSIVHAUS–ENERGÍA CASI NULA: ANÁLISIS CONSTRUCTIVO Y ALTERNATIVAS

**Resumen Proyecto:** Se presenta el desarrollo conceptual en fase de Proyecto y posterior ejecución de obra de una promoción de vivienda pública a gran escala, tanto por número de viviendas como por tipología constructiva en altura, desarrollada como edificio de consumo casi nulo. La promoción total es de 361 viviendas, repartidas en dos bloques, el A con 171 viviendas, y el B con 190. Se analizan los consumos teóricos a nivel de proyecto, desarrollando alternativas que posibilitan adaptar la construcción a estándares de consumo casi nulo durante la fase útil de la edificación, optimizando las inversiones económicas iniciales y trasladándolas a beneficios para los futuros habitantes de las viviendas.



Figura 1. Vista general edificación: 361 VPP.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	El ámbito de Bolueta, se encuentra en el límite Sur del municipio de Bilbao, lindando con Basauri y junto al río Ibaizabal.
Uso Característico Edificio:	Residencial; Vivienda pública en régimen general y régimen social
Zona Climática:	C1
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva
Superficie Total Construida:	12.300m <sup>2</sup> + 5.655m <sup>2</sup>
Perfil edificatorio	B+27 y B+9.
Fase del Proyecto:	Fecha prevista fin de obra; febrero 2018

## MEMORIA DESCRIPTIVA

La sociedad Pública “Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A.”, Visesa, promotora de vivienda protegida, trabaja cada día para ser referencia no sólo en la creación y edificación de vivienda, sino además hacerlo desde un punto de vista innovador y sostenible que cuide el medioambiente y en particular al ciudadano desde cualquier ángulo y perspectiva. En esta línea, Visesa es consciente de que el sector de la edificación es clave en el cumplimiento de los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero de la unión Europea, y sabedora de que las directivas de eficiencia energética en edificación marcan objetivos claros en este aspecto, exigiendo diseño de nuevos edificios de energía “casi nula” a partir de 2020. Adelantándose a dicho objetivo, e intentando hacer de tractor en el mercado, se desarrolla esta promoción objeto de estudio, con una construcción a gran escala y bajo estándares passivhaus.

### Agentes del Proyecto

- Promotor: VISESA: Vivienda y Suelo de Euskadi, S.A
- Proyectistas: VArquitectos; Germán Velázquez Arteaga, Sara Velázquez Arizmendi, Silvia Mingarro Cuartero, Velázquez, Germán Velázquez Arizmendi.
- Dirección Obra: VArquitectos; aparejador: Hugo Lapeña.
- Otros Técnicos Intervinientes: JG Ingenieros, FHECOR Ingenieros Consultores.

### Antecedentes

El proyecto objeto de estudio, empieza desarrollarse a nivel constructivo en el año 2012, cuando desde Visesa se decide apostar por innovar en la eficiencia energética de esta promoción y se convoca licitación pública, para la contratación de equipo facultativo que desarrolle la redacción del proyecto y la posterior dirección de obra de 361 viviendas. La licitación plantea de partida el objetivo de proyectar un edificio energéticamente optimizado, valorándose mejoras propuestas para conseguir este objetivo.

Si bien el proyecto en sus inicios se planteó como un edificio eficiente, con generación mediante una central de distrito. Dicha central de distrito no llegó a materializarse urbanísticamente, por lo que para poder seguir ofreciendo unas viviendas eficientes se planteó adaptar al estándar Passive House el proyecto. Se desarrolla un estudio de viabilidad y tras comprobar teóricamente las ventajas se decide trabajar para poder contar con un proyecto certificable.

Ha supuesto un reto por varios motivos; en primer lugar, por el propio tamaño del edificio, en este caso un bloque con 171 viviendas, 108 VPO y 63VS. Por otro lado, su altura, hace que sea el edificio Passive House más alto del mundo. Y por último, el que sean viviendas de protección oficial, e incluso 63 de ellas sean sociales en régimen de alquiler, hacen que cobre todo el sentido el esfuerzo por realizar un edificio de consumo casi nulo, para los gastos derivados de vivir en el mismo sean lo más acotados posibles.

### Descripción del Proyecto

Las 361 viviendas de la subzona RE 1 se reparten en tres parcelas y dos bloques independientes por encima de su cota de rasante. El bloque objeto de este artículo se sitúa en la parcela RE 1-A1 torre de B+27 con 108 viviendas protegidas, y su prolongación en la parcela RE1-A2 de B+9 con 63 viviendas sociales; el segundo bloque RE 1-B de B+20 y B+9 alberga 190 viviendas tasadas.

La planta sótano, con uso de aparcamiento y de trasteros, se propone común a ambos bloques.

Viviendas VPO: El programa de 108 viviendas, se resuelve con 1 núcleo de comunicación vertical y dos escaleras A y B necesarias para la evacuación. Se distribuyen 5 viviendas por planta.

Viviendas VS: El programa de 63 viviendas, se resuelve con 2 núcleos de comunicación verticales y unas escaleras para la evacuación por núcleo.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

La edificación propuesta consta de 361 viviendas, repartidas en dos bloques, el A objeto de este artículo, con 171 viviendas, y el B con 190.

El Bloque A, define un bloque lineal, con orientación E-O, con una altura de 9 plantas sobre la baja, en el portal de las viviendas tasadas, convirtiéndose en una esbelta torre de 20 alturas el portal extremo de viviendas sociales.

## Sustentación del Edificio: Cimentaciones

Se plantea una cimentación a base de zapatas aisladas apoyadas en el terreno firme que garantice no se produzcan asentamientos diferenciales, con los núcleos de las dos torres mediante losa continua de cimentación.

Perimetralmente se dispone un muro que en sus dos primeros niveles se realiza “in situ” para reducir al mínimo las juntas de hormigonado ya que existe el riesgo de inundabilidad. Estos muros quedan ocultos por los rellenos de la urbanización, excepto en tramos de unos 20 metros en la zona sur, coincidiendo con unas escaleras allí situadas.

Se proyecta una losa armada de hormigón in situ HA 30 sobre manta de bentonita de sodio y presolera de HA-20 de 6cms. La solera de hormigón armado está anclada a los muros del sótano y pilares. Se cuenta con bombeo y arquetas de recogida independientes para esas aguas y para las del drenaje exterior.

## Sistema Estructural

Estructura de hormigón armado, con forjados de prelosas que, en los pisos, incorporan una capa de hormigón aligerado que cumple una función de aislamiento además de permitir empotrar la instalación eléctrica obviando el problema de los falsos techos imposibles por la falta de altura.

Para soportar los esfuerzos de viento se cuenta con núcleos de dos pantallas en “U” para las torres que engloban escaleras y ascensores, mientras que en los cuerpos de menor altura se utilizan las pantallas de ascensor unidas a los pilares circundantes. Se tiene en cuenta la necesidad de prever anclajes para soportar la fachada, sobre todo a partir del nivel 10, especialmente.

Para la última planta se prolonga el entramado de estructura, en hormigón de los pilares y pantallas y las vigas que los unen se plantean metálicas.

## Sistemas de Envoltentes y Acabados

### *Carpintería Exterior + vidrios (Conjunto de Carpintería)*

El elevado requisito acústico de hasta 41dBa a tráfico en las esquinas y de hasta 36 dBA a tráfico en la gran mayoría del resto de fachadas expuestas a ruido de tráfico se recomienda adoptar una solución de carpintería de altas prestaciones acústicas y sin caja de persiana para evitar transmisiones indeseadas. Se proponen carpinterías pvc, con rotura de puente térmico y cumpliendo una transmitancia térmica del marco  $U_{hm} < 0.85 \text{ w/m}^2\text{k}$  para su certificación como carpintería PASSIVE HAUS. Acristalamiento mediante triple vidrio con doble cámara. Se añade un store interior, independiente como elemento de control solar registrable por el interior. Se minimiza el número de tipos de ventanas, tanto por facilidad de ejecución como por razones compositivas de la fachada.

### *Cerramientos*

La fachada se resuelve a base de una piel “plegada” de chapa con distintos matices que permite integrar en una trama vertical los huecos de las viviendas y los tendederos, envolviendo todo el edificio incluía la cubierta.

### *Fachada*

El cerramiento de las viviendas se resuelve con fachada ventilada terminada en composite de aluminio un núcleo central mineral cuya clase al fuego es B, s1-d0+ aislante de lana de roca (8cm) + raseo de mortero hidrófugo 1.5cm sobre media asta de LP y guarnecido de yeso de 1cm por el interior; separado de la fábrica se coloca el trasdosado autoportante de cartón-yeso con aislamiento de lana de roca (5 cm.) con paravapor.

Los tendederos se integran en el conjunto como retranqueos interiores cuya fachada al exterior es el mismo “hueco” sin carpintería similar a la del resto de la volumetría y hacia el interior se propone una fachada de S.A.T.E con aislamiento exterior de 8cm y raseo de mortero hidrófugo 1.5cm sobre media asta de LP y guarnecido de yeso de 1cm por el interior; separado de la fábrica se coloca el trasdosado autoportante de cartón-yeso con aislamiento de lana de roca (5 cm.) con paravapor.

**Revestimientos**

En la fachada el acristalamiento de los huecos se sitúa en el plano interior de la misma anclada al premarco. Esta posición permite pasar el aislamiento exterior por delante de la carpintería y mejorar las condiciones térmicas.

**Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones****Calefacción**

Generación de Agua caliente para Calefacción y Agua caliente sanitaria mediante calderas de condensación a gas natural y equipos de microgeneración ubicados en sala de calderas en sótano y distribución por edificio, y posterior módulo individual de generación instantánea y lectura de consumos. Por otro lado, y dado que se prevé que las viviendas no tengan la calefacción en el mismo horario de funcionamiento, se ha previsto bombas de secundario con variador de frecuencia, que ajustan el caudal bombeado a la necesidad térmica de los edificios en cada momento. Esta estrategia, hace que el sistema de calefacción alcance unas cotas de rendimiento superiores a cualquier sistema de calefacción convencional. La distribución de agua caliente de consumo y de calefacción a dos tubos reduce además, las pérdidas por distribución a la mitad.

**Ventilación**

Para la ventilación de las viviendas se hará circular el aire desde los locales secos hasta los húmedos. Los salones y dormitorios disponen de aperturas de admisión mediante red de aportación conducida. Los aseos y cocinas disponen de aperturas de extracción, conectadas a red de extracción. En cuarto húmedo se coloca un recuperador de energía de alta eficiencia cuya aportación se resuelve desde fachada y la expulsión se conduce con conductos verticales hasta cubierta. Cada cocina dispone además de un conducto para salida de humos de campana extractora.

**Aislamientos**

Las fachadas cuentan con dos tipos de aislamiento:

La fachada tiene 8cm de aislante de lana de roca colocado por el exterior de la fábrica y 5cm de lana de roca, densidad  $40\text{kg/m}^3$ , resistividad al flujo del aire,  $r \geq 5\text{kPa}\cdot\text{s/m}^2$  y paravapor entre la subestructura metálica del trasdosado interior. El aislante exterior pasa continuo por los frentes de forjado evitando los posibles puentes térmicos, además los pilares se recubren con los 5cm de lana de roca en todo su perímetro. Los tendederos se integran en el conjunto como retranqueos interiores cuya fachada al exterior se propone con aislamiento exterior de 8cm acabado tipo S.A.T.E.

En medianeras con viviendas o zonas comunes se colocan 5+3 cm de lana de roca en trasdosados.

Los forjados de todas las viviendas son prelosas de hormigón que incluyen 2cm de aislante árido de arlita expandida por su cara inferior. Esto nos permite evitar el puente térmico en las zonas de tendederos, además de mejorar las condiciones acústicas y térmicas de las viviendas. Para el forjado de las viviendas de planta primera que están en contacto con las zonas de acceso y espacios no calefactados se suplementa el aislante en 5+5cm de lana de roca por la cara inferior del forjado de planta primera. En cubierta también se colocan 5+5cm de aislamiento de poliuretano extruido entre geotextiles.

Para resolver el puente térmico de las terrazas-tendederos en las plantas tipo se colocan sobre el forjado 5cm de aislante de poliestireno extrusionado en toda la superficie del suelo de la terraza y 6 cm de S.A.T.E. de lana de roca para posterior aplicación de acabado continuo 1.5cm en el techo.

Los pilares de fachada que quedan exentos en las zonas de tendederos (espacios exteriores) se revisten con 3cm de aislante de SATE para evitar el puente térmico, lo mismo ocurre en los pilares de la estructura de cubierta y en los de la planta baja.

**OBJETIVO: ESTÁNDAR PASSIVHAUS**

El trabajo comenzó con la introducción del edificio en su estado inicial en el PHPP, obteniendo los siguientes resultados:



Valores específicos en relación a la superficie de referencia energética			
Superficie de referencia energética (SRE):	13107,0 m <sup>2</sup>		
Aplicado:	Método mensual	Certificado PassivHaus:	¿Se cumple?
<b>Demanda específica de calefacción</b>	<b>38 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
<b>Resultado del ensayo de presión</b>	<b>2,5 h<sup>-1</sup></b>	0,6 h <sup>-1</sup>	No
<b>Valor específico de energía primaria (EP) (AC, Calefacción, Refrigeración, Electricidad y Electricidad auxiliar):</b>	<b>88 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Si
Valor específico de EP (AC, calefacción, electricidad auxiliar):	46 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Ahorro de EP por la producción propia de energía solar fotovoltaica	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Carga de Calefacción:	15 W/m <sup>2</sup>		
Frecuencia de sobre-calentamiento en verano	0 %	por encima de 25 °C	
Demanda específica de refrigeración	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Carga de refrigeración:	6 W/m <sup>2</sup>		

Figura 2. Resultado PHPP.

Son unas buenas cifras, pero con una demanda de calefacción de 38kWh/m<sup>2</sup>a y una carga de 15W/m<sup>2</sup> queda lejos de poder certificarse.

Por tanto, se desarrollaron los cinco principios para poder optimizar al máximo los recursos disponibles y poder alcanzar el estándar.

**Aislamiento**

Fue el primer aspecto que se trabajó en el PHPP. Se contaba ya con una envolvente continua por el exterior del edificio, de 6cm de lana de roca, y 5cm adicionales en el trasdosado de cartón yeso. Finalmente se optó por una solución consistente en 8cm de lana de roca por el exterior y 5cm al interior, sumando por tanto 13 cm de aislamiento. Con estos espesores, y en cubierta y suelo de baja 10cm más 3cm de arlita, las transmitancias de los paramentos 0,24W/m<sup>2</sup>k, cifra suficiente para el clima de Bilbao, y sin duda favorecidos por el gran volumen del edificio y su buen factor forma.

	ANTES	AHORA
-DEMANDA DE CALEFACCIÓN:	38	36kWh/m2a
-CARGA DE CALEFACCIÓN:	15	14W/m2

La conclusión es que el nivel de aislamiento planteado era bastante cercano al óptimo, no siendo necesario más, puesto que los sucesivos incrementos que se han simulado han tenido una reducción de la demanda muy pequeña.

**Puentes térmicos**

Al plantear un aislamiento continuo por el exterior del edificio, se eliminan los puentes térmicos en frentes de forjados, pilares, etc. Para el resto de encuentros, fachada con cubierta, forjado de planta baja con fachada, etc. se han modelizado con la herramienta Flixo energy 7.0 para poder desarrollar detalle constructivo más adecuado para cada caso. A continuación se muestran algunos de los puentes térmicos calculados; encuentro de carpinterías con fachada ventilada, con SATE, jambas, etc.

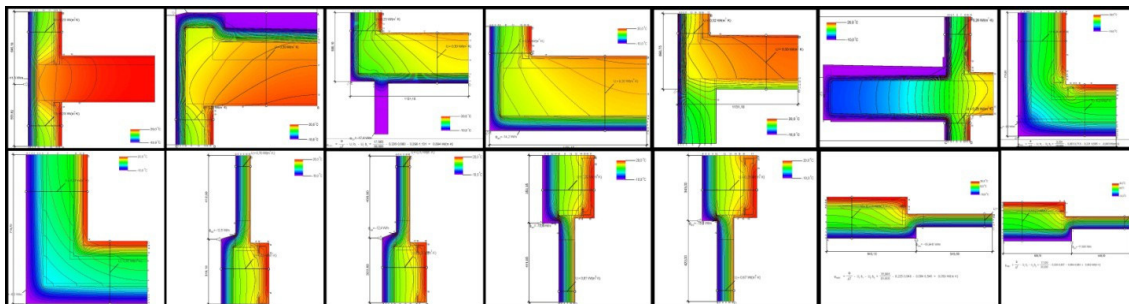


Figura 3. Detalles puentes térmicos.

La repercusión que tiene en el conjunto la mejora de estos puentes térmicos es relevante, puesto que, dadas las dimensiones del conjunto, cualquier puente térmico mal resuelto supone unas pérdidas energéticas de importancia en el total. En total se trata de 5kWh/m<sup>2</sup>a, pero lo principal es poder garantizar la ausencia de

patologías derivadas de condensaciones por bajas temperaturas en cualquier punto de la envolvente de los paramentos interiores.

### **Carpinterías altas prestaciones**

Las carpinterías previstas del proyecto, ya eran de altas prestaciones por las propias características del edificio y sus exigencias derivadas de la altura, problemática de ruidos, etc. La  $U_w$  prevista era de  $1,6W/m^2k$ , pero finalmente se han prescrito carpinterías certificadas Passive House, con una  $U_w$  menor de  $0,85W/m^2k$ .

Esto implica pasar de un balance energético anual tremendamente negativo, a un casi equilibrio entre pérdidas y ganancias, y su repercusión en la demanda de calefacción implica una reducción de  $7kWh/m^2a$  adicionales.

### **VMC doble flujo**

La ventilación mecánica de doble flujo resulta imprescindible en un proyecto como este, y es en gran parte responsable de la calidad del aire interior, así como del confort en la vivienda. Se plantan recuperadores individuales por cada unidad de vivienda, situados en el interior de la misma, generalmente en el falso techo del aseo o de la cocina, dependiendo de cada tipología. La admisión se realiza desde la propia fachada, en tanto que la expulsión del aire viciado del interior de las viviendas se hace por unos conductos interiores que cuentan con ventiladores en cubierta.

Es importante destacar que el recuperador es de alta eficiencia y certificado por el Passive House Institute, para contar con la certeza de que el rendimiento del mismo será máximo.

Esta medida se cuantifica con una reducción de  $9kWh/m^2a$ , estando ahora la demanda de calefacción en  $15kWh/m^2a$ .

### **Hermeticidad**

Tras la correcta implementación de las anteriores medidas, es necesario trabajar la hermeticidad al aire, puesto que de otro modo el rendimiento de la ventilación con el doble flujo caería en picado, además de perder confort, calidad del aire interior, etc.



Figura 4. Plantas –unidades de viviendas.

Para conseguir una hermeticidad de tan solo  $0,6r/h$  se ha planteado una línea de hermeticidad por unidad de vivienda.

Para ello se proyecta un enyesado de todo el perímetro interior de cada una de las viviendas, sobre la fábrica maciza de ladrillo. Las zonas de la torre con pantallas de hormigón no se enyesan, puesto que las pantallas ya son estancas al aire. Los patinillos y todas las perforaciones de la envolvente se trabajan con productos específicos.

Esta medida supone una reducción de la demanda de calefacción de  $5 kWh/m^2a$ , quedando por tanto la demanda en tan solo  $10kWh/m^2a$ .

## **PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

En este caso, se adaptó al estándar una vez se contaba ya con un proyecto de ejecución, por lo que cuantificar las diferencias económicas entre un edificio de referencia y otro certificable es perfectamente viable. Los sobrecostos han sido los siguientes:

No se ha considerado un incremento de precio en el aislamiento, puesto que ya se contaba con unos espesores importantes, y la cuantía de los puentes térmicos es realmente pequeña. Sí que tiene un costo adicional trabajar la

hermeticidad contando cintas, collarines y todos los elementos específicos. Las carpinterías han subido ligeramente el presupuesto especialmente por los acristalamientos.

Por último, la ventilación ha sido el mayor sobrecosto, pero dado el volumen de la obra, no ha resultado muy representativo. Finalmente, un 3,2% del presupuesto de ejecución material.

En cuanto al posible ahorro de los futuros usuarios, unas cifras muy conservadoras podrían ser las siguientes, suponiendo un precio de 0,10€ por kWh/m<sup>2</sup>a.

Estas cuantías suman un total de 35.371€ anuales, siempre teniendo en cuenta que en este caso el edificio de referencia ya partía de unas condiciones muy superiores a las marcadas por el CTE.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos han sido fruto de un concienzudo trabajo de desarrollo del proyecto en los cinco campos expuestos, siempre con la premisa de no complicar los trabajos en obra. Para ello se han utilizado soluciones convencionales para no encarecer ni aumentar plazos. Todo ello unido ha permitido pasar de 38kWh/m<sup>2</sup>a hasta los 10kWh/m<sup>2</sup>a actuales, con un sobrecosto de tan solo el 3,2%.

Los puntos a destacar de este proyecto desde el punto de vista del Passive House son su programa de viviendas protegidas y sociales, todo un reto poder plantear el estándar en estas circunstancias.

Por otro lado, su gran tamaño, este bloque cuenta con 171 viviendas, y por último su altura, que lo convierte en el edificio Passive House más alto del mundo.

Por todo ello, podemos ser muy optimistas de cara al futuro del estándar, ya que si ha sido posible aplicarlo en unas circunstancias a priori tan poco propicias, de aquí en adelante servirá para demostrar que en la inmensa mayoría de proyectos que nos encontremos podremos hacerlo.

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año			
		13107,0 m <sup>2</sup>	
<b>Calefacción</b>	Superficie de referencia energética	13107,0 m <sup>2</sup>	
	Demanda de calefacción	10 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Carga de calefacción	7 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
<b>Refrigeración</b>	Demanda total refrigeración	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Carga de refrigeración	3 W/m <sup>2</sup>	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	-
<b>Energía primaria</b>	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos eléct.	kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-
<b>Hermeticidad</b>	Resultado ensayo de presión n <sub>50</sub>	0,6 1/h	0,6 1/h

\* Campo vacío: faltan datos; -: sin requerimiento

Figura 5. Resultado PHPP.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Datos obtenidos de la Calificación Energética del Proyecto de ingeniería.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	1,5kWh/m <sup>2</sup> a
Demanda Calefacción:	1,5kWh/m <sup>2</sup> a
Demanda Refrigeración:	No hay
Aporte Renovables:	60%
Emisiones CO2 Edificio:	19.221kgCO <sup>2</sup> /año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El proyecto está en proceso de certificación por el Passivhaus Institute. Se convertirá en el edificio Passivhaus más alto del mundo, con 88m de altura.

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 6. Ejecución de cierre de fachada.

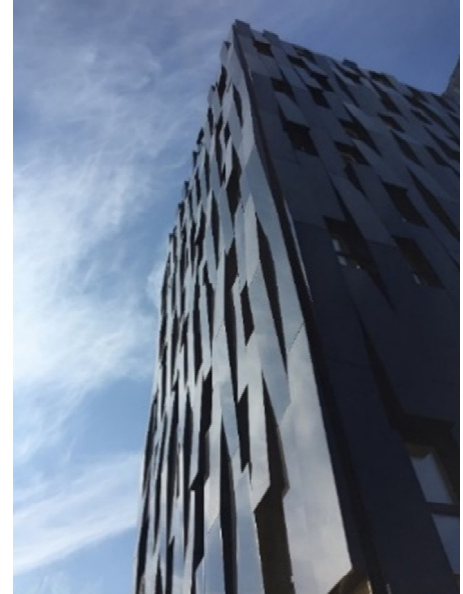


Figura 7. Vista fachada.

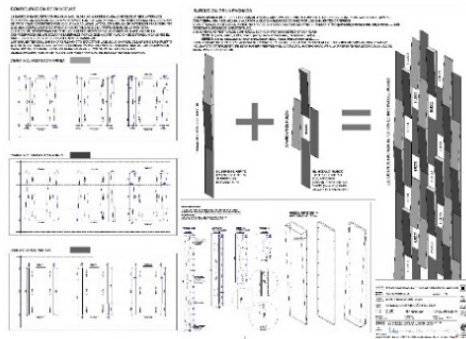


Figura 8. Esquema montaje fachada.

## EDIFICIO DE OFICINAS DE CONSUMO CERO Y BAJO COSTE EN MADRID: 'EL RETO KÖMMERLING'

**Resumen Proyecto:** El proyecto a presentar es resultado de aplicar una novedosa metodología de trabajo pionera en España, que aúna las bondades del BIM, LEAN e IPD en la búsqueda de alcanzar el diseño de un edificio de oficinas de consumo cero de bajo coste en Madrid, fruto de un concurso internacional con intervención de jurado. En él se explica el proceso de diseño y cálculo que toma como eje central la filosofía PassivHaus, articulándola con un software muy diverso (EnergyPlus, Ansys Fluent, Envi-met, HTFlux y DIVA entre otros), logrando alcanzar la optimización del diseño pasivo, semipasivo y activo sin olvidar su repercusión económica. Se logra así un edificio de consumo cero sin necesitar un gran despliegue tecnológico que dispare los costes.



Figura 1. Imagen exterior del edificio. Cara Norte.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Camarma de Esteruelas (Madrid).
Uso Característico Edificio:	Oficinas
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	1218,41 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Proyecto de ejecución
Otros:	Metodología BIM + IPD + LEAN (zero city project)

### MEMORIA DESCRIPTIVA

El proyecto busca ser contundente y eficiente a la hora de enfrentarse al 'reto Kömmerling': diseñar un edificio de oficinas representativo de la marca bajo la premisa de edificio de consumo cero (y de bajo coste), pero a la vez que consiga un espacio agradable para el trabajador a pesar del entorno industrial que en el que se inserta.

## Agentes del Proyecto:

- Promotor: Kömmerling (Profine Iberia)
- Proyectistas: David Moreno Rangel + Elena Vilches Álvarez [enmedio studio]
- Dirección Obra: David Moreno Rangel + Elena Vilches Álvarez [enmedio studio]
- Otros Técnicos Intervinientes: Carlos Moreno Martínez (ingeniero civil), Paula Esquivias Fernández (arquitecto), Ángela Dub (arquitecto).
- Colaboradores: Luis Angulo Serrano, Rafael Cano Aceituno, Fernando Prieto Álvarez, Elena Roldán Camas.
- Otros Agentes: Zero City Project (gestor), Alter Technica (ingeniería), Arquitectura Agronomía (paisajismo), LabBIM (BIM).
- Empresas colaboradoras: Kömmerling, Baupanel, Irpen, Siplast Icopal, Maco, Renson, Placo, Sismovil, Krona, Termigo, Schneider, Eurofesa, Foamglass, Solarworld, Iguzzini, Ingeperfil, Onduline, Prefire.

## Antecedentes

El proyecto es fruto de un concurso internacional con intervención de jurado en dos fases, bastante novedoso en la metodología de trabajo planteada por Zero City Project. Ésta tiene como objetivo diseñar y construir Arquitectura de Energía Nula (Zero), situándose un paso más allá de los requisitos que establece la administración con la llegada de los EECN. El potencial de la metodología es conseguir que técnicamente el Edificio sea de Consumo Nulo, al mismo coste económico de lo que supone el cumplimiento del CTE y el edificio Casi Nulo. Los mecanismos que se ponen en marcha para alcanzar este logro pasan, ineludiblemente, por mejorar y optimizar los procesos de diseño y construcción del edificio incorporando innovación y tecnología, e incluir a todos los agentes que participan en el proceso, en fases tempranas del diseño, donde pueden aportar conocimiento y se adquieren compromisos que dan viabilidad al proyecto. La metodología está basada en la integración de tres herramientas: la filosofía LEAN, la tecnología BIM (Building Information Modeling) y gestión IPD (Integrated Project Delivery). Cualquiera de estas tres herramientas por separado supondrá una mejora en el proceso de edificación, pero el gran potencial de mejora se alcanzará mediante la integración de estas tres. Kömmerling comprometido desde hace tiempo con este tipo de edificación, decide asumir el reto de diseñar y construir un edificio de oficinas para su sede de Camarma de Esteruelas (Madrid), bajo la metodología Zero City Project, con el objetivo de lograr un Edificio de Energía Zero a un precio de ejecución objetivo.

## Implantación

Un edificio eficiente no es sinónimo de cubiertas verdes y placas solares: entendemos como primera necesidad el hecho de que el usuario disfrute de calidad espacial viendo, además, satisfechas sus necesidades en el programa en todo su significado. Para ello, la nueva sede (situada en un polígono industrial) ofrece una doble faz: Hacia el norte se genera una 'plaza dura' de recepción de trabajadores y visitantes, conectada e integrada con los espacios industriales de la parcela y del entorno, pero a la vez creando su propio lugar representativo de la marca; hacia el sur se produce el semienterramiento de la nueva sede, donde los trabajadores consiguen un espacio propio, aislado visual y acústicamente del entorno fabril, abierto al sur y con vegetación. Las nuevas oficinas se abren así a un jardín en el que se perciben los cambios estacionales en la luz y la vegetación, donde el bienestar consigue mayor eficiencia en el trabajo y minimiza el riesgo de estrés.

## El edificio

La nueva sede se divide en dos cuerpos funcionales que arropan en ángulo a la plaza dura: el espacio del showroom y la zona de trabajo. El primero acoge al visitante y, en un descenso continuado, le muestra los productos en forma de muestras aisladas pero también productos ya instalados; el recorrido en suave descenso va mostrando poco a poco el edificio, sorprendiendo al visitante a través de un espacio muy atractivo. Para los espacios de oficina se persigue un concepto claro: la calidad medioambiental del espacio de trabajo, la serenidad y la armonía; para ello se diseña un nuevo paisaje ajardinado que penetra en el edificio a través de los patios.

Gracias a la utilización de diversas estrategias pasivas (que minimizan la demanda energética), junto con la utilización de otras activas de muy alta eficiencia (como la iluminación, climatización, ventilación y equipos), se logra cubrir toda la demanda energética con sólo 1PV por cada 13,7m<sup>2</sup> construidos del edificio.

## Valores prestacionales

Con una superficie de referencia energética de 1.028,70m<sup>2</sup> (1.218,41 m<sup>2</sup> construidos) una demanda de calefacción de 11,17kWh/(m<sup>2</sup>a) para una carga de 13,09 W/m<sup>2</sup>; mientras que para los meses cálidos, la demanda de refrigeración es de 9.62 kWh/(m<sup>2</sup>a), con una carga de 14,08 W/m<sup>2</sup>. La frecuencia de sobrecalentamiento de los días que la temperatura interior alcanzaría una temperatura superior a 25°C sin los sistemas activos funcionando es de sólo el 17,16% (sin considerar el sistema de pulverización de agua a presión instalado). El consumo de energía final en kWh/a de todo el edificio (Figura 2) es de 27.474,10kWh/a, lo que supone 32,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) de demanda específica de energía primaria. El factor más determinante en el consumo es el equipamiento de las oficinas, que supone un 43,6% de ese valor, mientras que el resto de prestaciones (iluminación, refrigeración, ACS, ventilación y calefacción -por orden creciente) suponen porcentajes similares entre el 9 y 14%. Con estos valores se consigue que el edificio sea de consumo cero con una instalación fotovoltaica con 95 PV.

	Consumo de energía final kWh/a	Consumo específico de energía final kWh/(m <sup>2</sup> a)	Factor PER kWh/kWh	Valor específico PER kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>calefacción</b>				
Producción (bomba de calor)	3.498,60	3,40	1,1	3,7
Bomba de circulación calefacción	348,00	0,34	1,1	0,4
<b>refrigeración</b>				
Producción (bomba de calor)	2.772,90	2,70	1,35	3,6
<b>ventilación</b>				
ventilación en invierno	1.071,00	1,04	1,1	1,1
ventilación en verano	1.353,00	1,31	1,35	1,8
ventilación adicional de verano	906,00	0,88	1,35	1,2
<b>agua caliente sanitaria</b>				
Producción (Bomba de calor)	2.572,50	2,50	1,22	3,0
Bomba de circulación calefacción	536,00	0,52	1,22	0,6
Bomba de carga del acumulador	55,00	0,05	1,22	0,1
<b>iluminación</b>				
iluminación artificial	2.387,00	2,32	1,22	2,8
<b>equipamiento y otros</b>				
Equipos de oficina, comedor y ot	11.974,10	11,64	1,22	14,2
<b>TOTAL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL</b>				27.474,10 kWh/a
<b>TOTAL PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b>				33.730,62 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>TOTAL DEMANDA ESPECÍFICA EP</b>				32,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>TOTAL PRODUCCIÓN ESPECÍFICA PV</b>				32,8 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Figura 2. Resumen de valores prestacionales del edificio.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

Decidir la materialidad (en su sentido amplio) de un edificio es una de las cuestiones más importantes ya que debe enfatizar la 'apuesta del proyecto', y ayudar a generar la atmósfera interior deseada. Este hecho aún se complica más cuando hablamos de un edificio de consumo cero ya que no sólo entran en juego las propiedades 'ópticas' y 'estéticas', sino que hay clarísima influencia entre ésta y el comportamiento energético final del edificio. La dificultad aumenta cuando el presupuesto por metro cuadrado se convierte en un 'reto' (hacer un edificio de oficinas de una planta de 1.218,41 m<sup>2</sup> por 850.000€, con una ratio inferior a 700€/m<sup>2</sup> y que además sea de consumo cero).

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

El sistema estructural del edificio forma parte de la propia envolvente térmica, y consiste en paneles de EPS armados donde se proyecta microhormigón. La cimentación se realiza mediante losa de hormigón armado in situ.

## Descripción general de la envolvente térmica

A continuación se describen los elementos constructivos principales que componen la envolvente térmica.

### A. CERRAMIENTOS VERTICALES OPACOS

Todos los cerramientos verticales opacos se forman a partir del panel BAUPANEL180, formado por 180mm de panel EPS armado y su correspondiente capa de 3,5cm de microhormigón a cada cara del mismo. Dependiendo de la posición dentro del edificio aparecen unas capas adicionales u otras. Así la cara norte, este y oeste se remata hacia el exterior con una cámara de aire no ventilada de 1cm y un panel de policarbonato multicelular de 40mm. Hacia el sur se incluye, sin embargo un monocapa de 3cm en color blanco. En la zona enterrada incluye una capa de impermeabilización. Hacia el interior, se incorpora un trasdosado de cartón yeso en la zona de trabajo y servicio mientras que el showroom se acaba en monocapa blanco. La transmitancia térmica del conjunto con policarbonato es de 0,17 W/(m<sup>2</sup>K), mientras que los cerramientos sin él es de 0,21 W/(m<sup>2</sup>K).

### B. CUBIERTA

La cubierta está formada por un panel BAUPANEL 250, formado por 250mm de EPS armado con 3,5cm de microhormigón a cada lado. La cara interior se remata con un falso techo de placas de cartón yeso que, en la zona de

trabajo, incorpora 4cm de aislamiento de lana de roca. Hacia el exterior la impermeabilización se consigue gracias a paneles onduline. La transmitancia térmica del conjunto es de 0,56 W/(m<sup>2</sup>K).

#### C. SUELO CONTACTO CON EL TERRENO.

La parte de envolvente en contacto con el terreno está formada por una losa de hormigón armado (a falta de estudio geotécnico, por la profundidad a la que se está cimentando y las pocas cargas que va a transmitir la estructura por el sistema elegido, se ha estimado 25cm), sobre 6cm de aislamiento de Foamglas, 10cm de hormigón de limpieza, un film de polietileno y un enchado de grava de 20cm. La transmitancia térmica del conjunto es de 0,55 W/(m<sup>2</sup>K).

#### D. VENTANAS Y PUERTAS.

Las ventanas y puertas se realizan con carpintería Kömmerling 76 (certificada por PHI), y vidrio triple Saint Gobain Glass SGG Climatop LUX 4/18/4/18/4 AR 90%, con factor solar (g) de 0,62. La transmitancia térmica del vidrio es de 0,62 W/(m<sup>2</sup>K) mientras que la del marco 0,98 W/(m<sup>2</sup>K).

#### E. LUCERNARIOS.

Los lucernarios son PROFINE LAMILUX CI-SYSTEM PR60 (certificados por PHI) con vidrio triple PR60 (10+6+10+6+10), factor solar (g) de 0,48. La transmitancia térmica del vidrio es de 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) mientras que la del marco 0,52 W/(m<sup>2</sup>K).

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### *Sistema de climatización*

Una de las recomendaciones más importantes que hace PassivHaus Institut sobre el diseño de edificios de consumo casi nulo o cero es la de intentar conseguir un diseño pasivo que permita, por sus bajas cargas térmicas, conseguir climatizar (calefactar y refrigerar) a través del propio aire de ventilación (sin necesidad de aumentar el tamaño de los ventiladores o del equipo). El proyecto consigue que se cumpla esta recomendación durante la mayor parte del año (no se ha podido conseguir durante todos los días ya que las soluciones necesarias para ello incrementaban el presupuesto del edificio por encima del límite objetivo), precisando un aporte adicional mínimo.

Entre las múltiples hipótesis realizadas se apuesta por un sistema de suelo radiante/refrescante, ya que no sólo resulta más económico, sino que consigue un mayor equilibrio entre el consumo energético, el coste de la instalación y el confort de los usuarios. Este sistema se conecta al sistema hidráulico cuya producción térmica se genera mediante aerotermia, con una potencia frío/calor de 16,06/14 kW.

### *Ventilación*

El edificio cuenta con un sistema de ventilación de alta eficiencia con recuperador de calor pasivo de celdillas cerradas y flujos a contracorriente, con forma de diamante, formado por 6 equipos Zehnder ComfoAir Q600 ST HRV.

Se ha optado por un sistema de múltiples unidades más pequeñas, fácilmente distribuibles por el edificio, que minimiza las longitudes de conductos y la potencia del ventilador necesario ya que se reducen las pérdidas de carga. Además al tratarse de equipos 'domésticos', certificados por PHI, tienen niveles de producción sonora muy reducidos (sólo 28dBA) con altas prestaciones, y un mantenimiento sencillo pensado para que todo los usuarios puedan realizarlo de manera cómoda y sencilla. La tecnología de ventiladores que incorpora proporciona un funcionamiento energéticamente eficiente y silencioso, equilibrando las renovaciones de aire para garantizar la máxima recuperación de calor, llegando a alcanzar una eficiencia del 96% a 21l/s.

### *Aerotermia*

La producción térmica (frío/calor) para calefacción, refrigeración y abastecimiento de agua caliente se realiza a través de un único sistema de aerotermia formado por:

- 1 unidad exterior Daikin Altherma ERLQ014CV3, Potencias frío/calor 16,06/14,00 kW, con EER/COP 3,01/4,46; con tubo de drenaje EKDK04.
- 1 Hidrokit EHVX14S18CB3V, con depósito ACS 180 litros integrado, con interfaz usuario EKRUCL3.
- 1 Depósito de inercia GEISER Inercia G-1000-IF, con capacidad de 1.000 litros.



### **Sistema de pulverización de agua a alta presión**

El sistema se incorpora de manera perimetral siguiendo el espacio buffer y a los patios de las zonas de trabajo, contando con un grupo de presión (12 LPM), un grupo de inyectores (con 100 boquillas de níquel con antigoteo de 0,3mm) y un grupo de filtrado (con dos cartuchos de filtro de 5 micrones y uno de 1 micrón) junto con una serie de accesorios eléctricos (como 3 electroválvulas de drenaje NC de alta presión y otra de baja presión).

Con éste, bajo el principio de enfriamiento adiabático por evaporación se consigue reducir la temperatura del aire en 10°C de media, dependiendo de la temperatura y la humedad relativa exterior.

### **Iluminación**

Se utilizan para ello paneles led slim para las zonas de trabajo y servicio, campanas LED Philips Driverless 200W y 135lm para el showroom, pantallas estancas LED ECO 1200mm 36W para el espacio buffer y el comedor, y barras lineales LED Otis 42W PRO instalados de manera oculta en el lucernario para iluminar los pasillos. Además para la regulación se ha contado en general con interruptores crepusculares con célula fotoeléctrica integrada y reguladores LED, y BUS para las áreas de trabajo. De todas formas, las zonas de trabajo de open plan alcanzan un Daylight Autonomy de 300 luxes en la horquilla del 70 al 100% de horas ocupadas al año, considerándose el perfil de ocupación desde las 8:00 hasta las 20:00 de la tarde.

### **Automatización y Control**

El edificio no cuenta con un sistema domótico tradicional capaz de dominar y controlar todo de manera automática. Está demostrado que el usuario se siente más satisfecho si puede participar en los mecanismos adaptativos del edificio para conseguir un mayor grado de confort visual y térmico. Sin embargo sí que se disponen tres sistemas diferentes que ayudan a la automatización de sistemas y uno, el más importante, que informa al usuario (mediante la 'carpintería equipada') ayudándolo a inter-actuar con el edificio de la mejor manera posible en la búsqueda de minimizar los consumos y conseguir un buen funcionamiento energético general:

- Sistema de automatización propio para la instalación fotovoltaica, que optimiza por sí sola el proceso de producción de energía eléctrica sin necesidad de un control y mantenimiento continuado.
- Sistema de ventilación mecánica de doble flujo, con sensores independientes y control automatizado para optimizar el proceso de recuperación de calor y renovación de aire del edificio.
- Sistema de control de la producción de aerotermia que optimiza la producción térmica regulando el consumo.
- Sistema de 'falso retorno' para el agua caliente sanitaria que permite ahorrar una gran cantidad de energía (y agua) consiguiendo una mejor experiencia del usuario.
- Sistema domótico basado en placas Arduino, que se convierte en el cerebro central facilitando la interacción del usuario con el edificio a través de las carpinterías, dándole información relevante de manera muy sencilla para ayudar a que el edificio siempre se 'configure' de la mejor manera posible. Además este sistema, de muy bajo coste, es capaz de gobernar la iluminación, el sistema de pulverización de agua, la apertura y cierre de lucernarios, y los estores de exterior, siempre gracias a la información recibida a partir de una serie de sensores de iluminación, temperatura (seca y radiante), humedad y calidad del aire.

### **Sistema de interacción con el usuario: La 'carpintería equipada'**

Los edificios de bajo consumo o consumo nulo suelen pensarse bajo unos criterios óptimos de funcionamiento que dan lugar a situaciones donde el usuario no interactúa, o bien lo hace de manera ideal. La realidad es que en este tipo de edificios el grado de influencia que el usuario tiene sobre el comportamiento energético global es enorme.

Dado que la solución de incorporar un costosísimo cerebro domótico autómatas es ajeno al 'sentido común' de las personas, se apuesta por equipar los perfiles de Kömmerling para la carpintería mediante sistema de comunicación con el usuario directo y sencillo que le permite entender en cada momento la repercusión que su acción sobre el edificio puede tener en el balance energético global.

Así todas las carpinterías practicables incorporan un led RGB junto la maneta que cambia de color (a modo semáforo):

- Rojo = 'No es bueno abrir. Si tienes que hacerlo abre y cierra rápido'.     : o
- Amarillo = 'No importa abrir. Es indiferente tener abierto o cerrado'     : \
- Verde = 'Deberías abrir, ¡estás ahorrando energía con ello!'             : )

## Energías Renovables in situ o en el entorno

### Energía Fotovoltaica

Para abastecer la demanda de energía primaria renovable del edificio de 32,9kWh/(m<sup>2</sup>AProyectada·a), 33.844,23kWh/a, se necesitan 95 captadores fotovoltaicos Solar World SW300Mono, con dos inversores de 20kW. Se toma, no obstante, la determinación de aumentarlos hasta 102 por tres motivos: El envejecimiento de los captadores, la inadaptación entre la curva de producción y la curva de demanda, y el cambio climático.

El rendimiento de energía conseguido es de 34.050,00 kWh/a (33,1 kWh/m<sup>2</sup>AProyectada\*a), suficientes para conseguir que el edificio sea de consumo cero

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de ejecución material del edificio es 849.991,35€ (no desviándose del PEM de 850.000,00€. que marcó el promotor desde el inicio del proyecto). La distribución de los costes por capítulos es el siguiente:

- Demoliciones:	2.085,00€
- Acondicionamiento del terreno	14.247,90€
- Cimentaciones	37.771,54€
- Estructuras	322.168,99€
- Fachadas y particiones	59.028,25€
- Carpintería, vidrios, hermeticidad y protecciones solares	120.124,99€
- Remates y ayudas	4.103,02€
- Instalaciones	146.682,76€
- Aislamientos e impermeabilizaciones	28.053,77€
- Cubiertas	60.054,53€
- Revestimiento, trasdosados y falsos techos	36.298,46€
- Señalización y equipamiento	2.315,35€
- Gestión de residuos	2.250,00€
- Control de calidad y ensayos	6.752,96€
- Seguridad y salud	8.053,83€

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Para diseñar un edificio de consumo cero (que cumple sobradamente con el DB-HE sobre ahorro de energía) se puede optar por diferentes estrategias: desde apostar claramente por estrategias activas que sean capaces de generar la suficiente energía como para equilibrar las demandas del edificio (con independencia de que éstas sean más altas o bajas); hasta considerar que la energía más 'limpia' es la que no se consume, para lo cual es necesario considerar una gran cantidad de estrategias pasivas que traten de minimizar las necesidades energéticas de un edificio con el uso propuesto. Este proyecto de edificio de oficinas de consumo cero parte de una apuesta radical por este último posicionamiento, tratando de explotar al máximo las ventajas que el propio diseño arquitectónico (pasivo) permite. Entre las soluciones pasivas empleadas destacan las siguientes: semienterrar el edificio; aprovechar la vegetación como regulador térmico y de calidad del aire; situar el edificio donde no exista obstrucción solar; aprovechar las oportunidades que brinda orientación; proteger el edificio ante el lavado térmico del agua de lluvia y los vientos fríos de invierno y cálidos de verano; realizar un diseño con un factor de forma variable según la estación; realizar una organización programática estratégica acorde con las cargas internas generadas; crear espacios de transición (*transitional spaces*) para minimizar pérdidas a través de la envolvente, maximizar el uso de la iluminación natural; utilizar una envolvente de grandes prestaciones térmicas (tanto a nivel pasivo como dinámico) y gran hermeticidad; contar con protección solar horizontal y vertical ante la radiación excesiva de verano; optimizar la ventilación natural.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	72.030,00 KWh/a (70kWh/m2a)
Demanda Calefacción:	11.493,93 KWh/a (11kWh/m2a)
Demanda Refrigeración:	9.898,98 KWh/a (10kWh/m2a)
Aporte Renovables:	33.719 KWh/a (33kWh/m2a)
Emisiones CO2 Edificio:	-0,02 kgCO2/m2a
Demanda de Energía Primaria Renovable	33.450 KWh/a (33kWh/m2a)

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El edificio no sólo ha obtenido una calificación energética A según la herramienta unificada, sino que además cumple con el estándar PassivHaus.

Actualmente está en proceso de obtener la siguiente certificación: PassivHaus, LEED NC y BREEAM NC.

## IMÁGENES PROYECTO

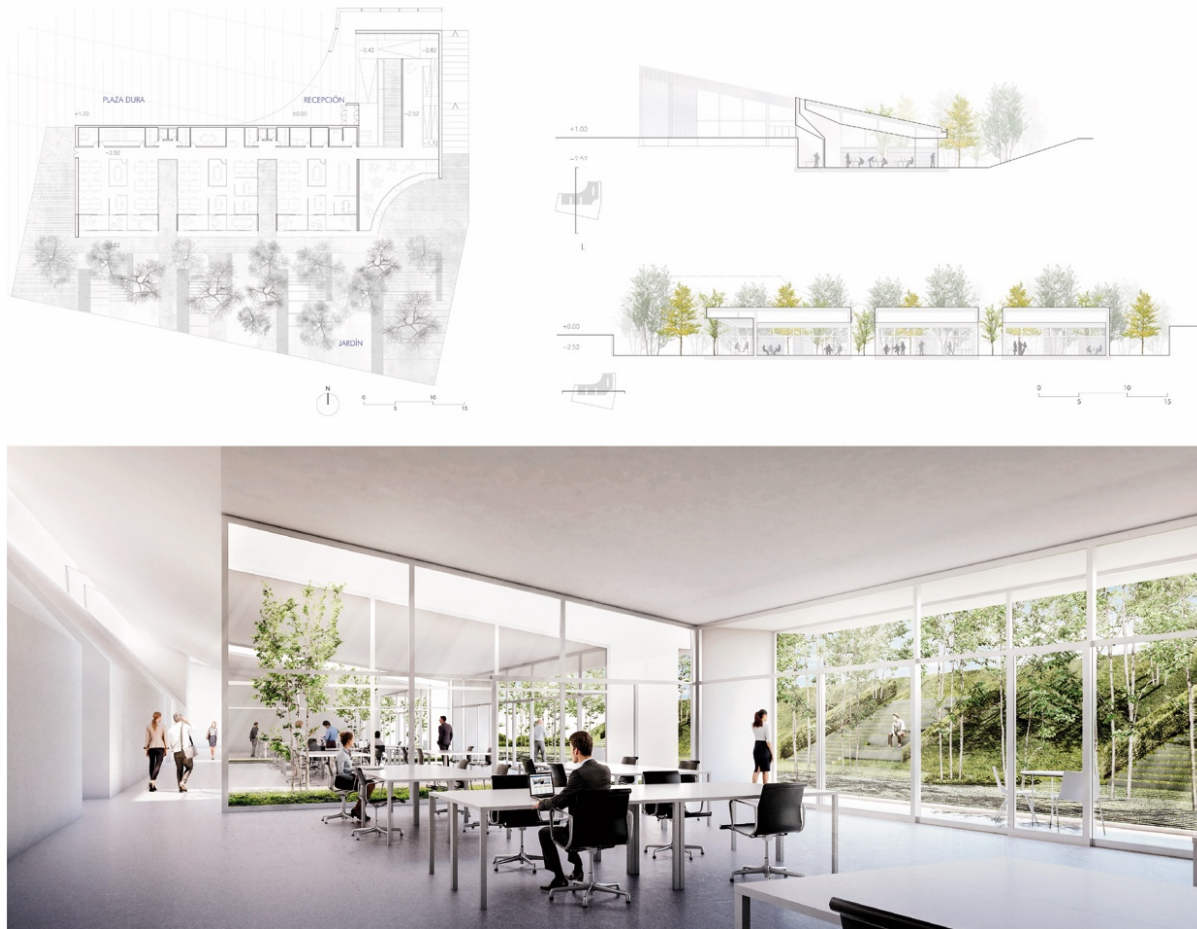


Figura 3. Planta general, sección e imagen interior del edificio.

## BIBLIOTECA MUNICIPAL EN SAN FERMÍN

**Resumen Proyecto:** Se trata de un edificio innovador que responde a múltiples necesidades culturales. El trazado de la geometría del edificio, la distribución de usos y actividades dentro de la biblioteca, así como el diseño de sus fachadas y la definición de los usos culturales en el espacio libre de parcela han sido fruto del consenso entre los servicios técnicos municipales y un proceso de participación ciudadana. El equipamiento se ubica en una parcela de unos 1.900 m<sup>2</sup> y tiene una superficie construida de 3.129,39 m<sup>2</sup>. Se ha estructurado en tres plantas y un sótano, cuenta también con un espacio exterior con uso cultural. El programa de usos responde a una organización de espacios de mayor ruido a silencio de manera progresiva, proyectado sobre grandes espacios diáfanos. En el proyecto se ha tenido especialmente en cuenta la definición de una envolvente que permita la máxima limitación de la demanda energética en función del clima y de la exposición a la radiación solar, además de responder a la demanda vecinal de ser una edificación permeable abierta al espacio exterior, que permita incorporar sensorialmente la presencia de las masas arbóreas de la propia parcela.



Figura 1. Infografía vista Fachada Norte.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Avenida de San Fermín, 8 y 10 - Barrio de San Fermín. Distrito Usera. Madrid.
Uso Característico Edificio:	Equipamiento cultural. Biblioteca
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva
Superficie Total Construida:	3.129,39 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Tramitación de la licitación de la obra

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Cultura y Deporte. Dirección General de Intervención en el Paisaje Urbano y Patrimonio Cultural

- Proyectistas: Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid S.A. (EMVS de Madrid). Arquitecto Jefe de Proyecto, Horacio Fernández del Castillo.
- Dirección Obra: Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid S.A.
- Otros Técnicos Intervinientes: Colectivo BASURAMA
- Otros Agentes: PVG Geotécnica S.L.

## Antecedentes

En el año 2015 se inició un proceso de participación ciudadana para establecer las bases del modelo de programa y edificio de acuerdo con las aportaciones de las Asociaciones vecinales presentes en el barrio y de los servicios técnicos del Ayuntamiento de Madrid intervinientes. En marzo de 2016 y en base al programa preliminar establecido en las bases de la fase anterior, se desarrolla el proyecto de ejecución para la construcción de la Biblioteca.

## Descripción del Proyecto

El edificio se organiza en cuatro plantas de forma rectangular. Tres de las cuales se encuentran sobre rasante y un sótano bajo rasante en el extremo norte y sobre rasante en el extremo sur, debido al fuerte desnivel de la parcela. La huella geométrica del rectángulo principal en planta es de aproximadamente 51,26 x 17,70 m. La planta baja y sótano ocupan todo el perímetro de la planta del edificio. La planta primera también, al que se añade un cuerpo volado de 3x3 metros en la fachada norte. La planta segunda, presenta retranqueos respecto la fachada principal que conforman terrazas.

La configuración de las aberturas de fachadas y sus elementos de protección permiten controlar la luz molesta para el ejercicio de la actividad propia del edificio en las fachadas sur y oeste mientras que la permeabilidad visual hacia el este, pero sobre todo hacia el norte, permiten incorporar sensorialmente a la actividad la presencia de las masas arbóreas interiores a la parcela, de manera que se persigue la sensación de estar "leyendo en un parque".

## Prestaciones del Edificio

En la planta baja se localiza el acceso principal con un zaguán retranqueado desde fachada. Es un espacio completamente diáfano, donde se localizan el control principal de accesos, la zona de prensa y publicaciones, la zona de mediateca-internet-multimedia, un área de descanso, la zona de biblioteca infantil-bebeteca y los despachos de administración.

En la planta primera se sitúa un vestíbulo a modo de área de descanso con un mirador volado hacia las masas arbóreas presentes en la parcela. En el espacio principal de la planta se localiza la sala de préstamo, intercalando estanterías con puestos de consulta. Cuenta también una sala juvenil y de comic, una zona de aseos, dos despachos para reuniones grupales con capacidad de 6-8 personas y un espacio polivalente, configurable mediante un sistema de paneles acústicos en dos espacios de menor tamaño y similares prestaciones.

La planta segunda está dedicada principalmente a sala de lectura, un gran espacio con numerosos puestos de trabajo o lectura; cuenta con una terraza transitable estancial con una superficie ajardinada de arbustivas. En esta planta se sitúa también un núcleo de instalaciones.

En la planta sótano existen tres zonas diferenciadas. La primera es un aparcamiento bajo rasante con la dotación de plazas obligatoria. La segunda una gran sala polivalente para actividades de todo tipo, que cuenta con acceso directo al norte a la parcela de la biblioteca y a la vía pública desde la fachada este del edificio, espacio que se cederá a las asociaciones de vecinos del barrio para sus actividades socio-culturales propias. La tercera zona es de servicios, con aseos, vestuarios, almacenes y cuartos de instalaciones.

La dotación de mobiliario de las diferentes estancias es la habitual en un uso de biblioteca de este tipo, siendo las estanterías, las mesas y las sillas, el equipamiento básico dominante en toda la actuación.

El edificio dispone de dos núcleos de comunicación vertical principales. Uno central compuesto por un núcleo de escalera abierta más un ascensor de gran capacidad que recorre todas las plantas del edificio y un segundo núcleo de escaleras de evacuación protegidas.

La zona exterior de la parcela, adyacente a la fachada norte del edificio, presenta zonas ajardinadas, zonas terrazas y caminos pavimentados que comunican los dos accesos al recinto con el acceso principal al edificio. Se preserva los

árboles existentes en la parcela, complementándolos con nuevas especies arbustivas y tapizantes. Cuenta con mobiliario para exteriores y dos zonas de graderío para reuniones o representaciones concertadas.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La estructura portante principal está formada pilares de hormigón armado de sección rectangular variable entre cimentación y planta segunda, así como pilares metálicos HEB-180 que soportan la cubierta metálica. La estructura horizontal se ha realizado con forjados reticulares de casetón perdido de bloque de hormigón ligero en planta baja y primera, mientras que en planta segunda se ha empleado una losa armada. Se ha dispuesto una junta de dilatación realizada con doble pilar en todas las plantas. La cubierta se resuelve mediante un forjado de chapa colaborante apoyado sobre vigas metálicas HEB-300 BOYD.

### Sistemas de Envolventes y Acabados

En cuanto a cerramientos, las fachadas sur y oeste son bastante opacas frente a la incidencia del soleamiento, mientras que las fachadas este y norte, son muy permeables y abiertas al espacio exterior que rodea al edificio, aunque la primera cuenta con elementos verticales de protección solar.

La composición del cerramiento de fachada es una fábrica de 1/2 pie de ladrillo perforado de 12,5 cm. alineado a cara exterior de pilares y apoyado sobre forjados, enfoscado con mortero hidrófugo 2 cm en toda la superficie exterior. Por el interior presentará un trasdosado compuesto por tabiquería autoportante de panel de cartón yeso de 70 mm de canal con aislamiento termoacústico intermedio. Por el exterior de la hoja de fábrica se dispondrá sistema de fachada ventilada configurado por piezas cerámicas de 120x300x18mm ancladas mediante perfilera, con cámara de aire de 12 cm y aislamiento de panel rígido de lana de roca de doble densidad.

En planta sótano, presenta una pantalla de pilotes con viga de atado de cabeza para contención y cimentación, en fachadas sur y oeste. En fachada este y norte y en la parte aérea de fachada sur, un muro de hormigón armado hasta desde cimentación hasta forjado de techo de la misma planta. Se realizan dos trasdosados hacia los recintos interiores de sótano.

Las carpinterías exteriores de la fachada sur y oeste se proyectan de aluminio lacado con RPT sin capialzado, marco de aluminio con RPT >12 mm y fracción de marco del 20%. La composición de los vidrios será 4/12/4 o 4/16/4 con vidrio exterior de control solar incoloro, siempre que respondan a un  $U=1,3W/m^2K$  y factor corregido solar al menos de  $G=0,35$ . Permeabilidad al aire Clase 4 o superior, Estanquidad al agua E1200 o superior, Resistencia al viento Clase C5 o superior y Aislamiento acústico mínimo  $R_a=34,9$ .

El cerramiento de la fachada Norte es un muro cortina autoportante de aluminio "Sistema Schüco FW 50+" con rotura del puente térmico y acristalamiento Climalit Plus Cool-Lite Xtreme 60/28 6(16 air)6, templado y control solar exterior, cámara y laminar interior.

Las ventanas corridas de las tres plantas de la fachada sur presentarán parasol horizontal de aluminio anodizado lacado sobre dinteles de hueco recibido a paramento vertical. La fachada este se protege de la radiación solar con elementos de protección solar a base de lamas verticales de chapa perforada perpendiculares al plano de fachada.

La tipología de la cubierta del edificio es invertida con capa de formación de pendientes de hormigón aligerado con espesor entre 5 y 15 cm. y un 1% de pendiente, Sobre la formación de pendiente se dispondrá impermeabilización compuesta por capa de oxiasfalto en caliente de 1,5 kg/m<sup>2</sup> y doble lámina asfáltica de betún modificado con elastómeros tipo SBS adheridas con soplete. Sobre la impermeabilización se dispondrá capa de mortero de protección de espesor mínimo 2 cm., lámina geotextil antipunzonante de 200 g/m<sup>2</sup> y aislamiento térmico de poliestireno extruído de espesor 6 cm. Sobre el aislamiento rígido una nueva capa de lámina geotextil antipunzonante y capa de gravilla de espesor mínimo de 5 cm o losa filtrante. En las zonas de cubierta transitable se dispondrá un suelo flotante de lamas de madera industrial alveolar de sección 14x 3 cm formada por paneles sintéticos de pvc+virutas de madera sobre rastreles. En la terraza de la planta segunda se conforma una gran zona ajardinada en la que se dispone una capa de sustrato vegetal con plantación de aromáticas.

Los pavimentos del interior del edificio son de gres porcelánico con acabados distintos conforme al diseño para diferenciar zonas.

Los acabados de los paramentos verticales son fundamentalmente de pintura plástica sobre guarnecido o enfoscados previos o sobre tabiquería y trasdosados de cartón yeso. En aseos, alicatado de gres porcelánico y en cuartos de instalaciones pintura plástica sobre enlucido guarnecido y enfoscado previos.

El falso techo con mayor presencia en las salas principales del edificio en un falso techo de panel termoacústico registrable de virutas de madera con perfilera oculta.

## **Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones**

El edificio presenta dos grandes núcleos de instalaciones generales, uno en planta sótano en la esquina noroeste del edificio y otro en un espacio abierto exterior en la planta segunda en su zona oeste. La comunicación vertical se realiza por dos patinillos de instalaciones principales que atraviesan todas las plantas.

La energía utilizada para las calderas es gas natural canalizado. Para el resto de los equipos es energía eléctrica suministrada por la red y producida en parte por paneles fotovoltaicos instalados en la cubierta del edificio.

Para la climatización de los diferentes recintos o estancias se ha optado por un sistema de suelo radiante- refrescante, potenciado mediante una instalación a dos tubos de fancoils sólo frío.

### ***Calefacción***

La producción de agua caliente para la climatizadora y el suelo radiante se realizará mediante la Unidad técnica de cubierta dotada de dos calderas de condensación.

### ***Refrigeración***

La producción de agua fría para refrigeración se realiza con una enfriadora aire-agua ubicada en cubierta.

### ***Ventilación***

La ventilación se realiza mediante el sistema de conductos de aire de las UTAs de Climatización. Se disponen extractores automáticos en aseos y cuartos de instalaciones.

### ***Iluminación***

El alumbrado se adapta a las características específicas de cada una de las zonas. Se cumplirá con los niveles de iluminación exigido en el documento básico SUA-4 del Código Técnico de Edificación. Y con las condiciones que marca el Reglamento de Eficiencia Energética.

Se han establecido en general varios encendidos por zonas en orden de poder obtener ahorro de energía. Los encendidos de las escaleras y de los vestíbulos será centralizado en la zona de recepción. Los aseos cuentan con detectores de presencia. Las luces de cuartos de uso intermitente se accionarán mediante interruptores normalmente situados en puerta.

Las luminarias empleadas tienen un rendimiento energético elevado, al ser de tipo LED y tipo fluorescente prácticamente en su totalidad y un rendimiento cromático adecuado a los fines que se persiguen.

Todas las luminarias estarán equipadas con equipos electrónicos. Y la primera línea de luminarias para dar cumplimiento a la HE-3 , estará dotada de un sensor lumínico que actúa sobre el balasto electrónico regulable.

### ***Automatización y Control***

El control de la climatización se gestiona mediante un ordenador central que programará automáticamente la puesta en marcha de los equipos: calderas, enfriadoras, bombas, climatizadores y fancoils.

### ***Agua caliente sanitaria***

Para la producción de ACS, se emplearán termos eléctricos con apoyo de energía solar mediante la instalación de un sistema de paneles solares térmicos que permitirá la captación y almacenamiento de la energía.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

La instalación estará dotada de una instalación de paneles fotovoltaicos situados en cubierta. Para dar cumplimiento del CTE-DB-HE-5, sólo sería necesario instalar una potencia de 2,12 kWp, no obstante, se va a instalar una potencia de 17,55 kWp, con el fin de cubrir un ratio de 15k kWh/m2 año de consumo de electricidad en las zonas climatizadas.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El Presupuesto de Ejecución Material Total es de 3.450.398,56 €. El presupuesto Base de Licitación (IVA incluido) es de 4.968.228,88 €.

Teniendo en cuenta que el edificio tiene una superficie construida total de 3.129,39 m2 y que el presupuesto de ejecución material del edificio (sin urbanización) asciende a 3.259.229,32 euros, el ratio de coste PEM por m2 edificado construido asciende a 1.041,49 euros/m2.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

El edificio adopta las disposiciones constructivas y las soluciones técnicas necesarias para que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada funcionalidad del edificio. Dispone de una envolvente adecuada para limitar la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad de situación, del uso previsto y del régimen de verano e invierno. Las características de aislamiento e inercia térmica, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reducen del riesgo de aparición de humedades superficiales e intersticiales que puedan perjudicar las características de la envolvente. Se ha tenido especial cuidado en el tratamiento de los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	90,82 kW/ m2 año
Demanda Calefacción:	19,38 kW/ m2 año
Demanda Refrigeración:	17,24 kW/ m2 año
Aporte Renovables:	17.195,17 kW/ año
Emisiones CO2 Edificio:	16,42 Kg CO2 / m2 . año

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El certificado provisional de eficiencia energética se ha realizado en fase de proyecto, así como la calificación energética del edificio resultante. Una vez concluidas las obras, como parte integrante de la Documentación final de obra se realizará nuevo estudio y emisión definitiva del Certificado de Eficiencia Energética del Edificio.

Se cumple el Acuerdo Plenario del 25 de mayo de 2016 (BOAM 7697 de 07/7/16) del Ayuntamiento de Madrid que establece la demanda energética para climatización no exceda de los 20 kWh/m2×año y que se utilizan energías renovables como apoyo.



## IMÁGENES PROYECTO



Figura 2. Infografía vista aérea.



Figura 3. Infografía Vista Oeste.

## EDIFICIO DOTACIONAL MIXTO EN LA CALLE COSTANILLA DE LOS DESAMPARADOS 15 Y CALLE FÚCAR 6 Y 8, MADRID

**Resumen Proyecto:** El edificio que promueve el Ayuntamiento de Madrid en el corazón del Barrio de las Letras desarrolla un programa dotacional que va a paliar de manera significativa el déficit de equipamientos del centro histórico de la ciudad: Centro de Mayores, Centro de Alzheimer, Escuela Infantil, Equipamiento Polideportivo, Piscina, Cantón Municipal de Limpieza y Aparcamiento Multimodal para residentes, lo que constituye un aporte esencial para la sostenibilidad social de este barrio rehabilitado y revitalizado. El edificio articula el espacio de las calles que lo rodean creando un recorrido a través de nuevo espacio público en el interior de la manzana que ocupa, enriqueciendo la trama espacial y los recorridos peatonales del barrio. Su particular situación, en la ladera que cae hacia el Paseo del Prado, a caballo entre dos calles, Costanilla de los Desamparados y Fúcar, desde las que tiene accesos con un desnivel de más de 6 metros, y la voluntad de restituir la integridad volumétrica de la manzana, tal como planteaba la modificación del PGOU de Madrid del año 2005, modelan un a volumetría abierta con una gran exposición al medio climático y microclimático y con un importante volumen semi enterrado y subterráneo. El edificio se resuelve como un medio de gestión dinámica de los recursos espaciales, energéticos e hídricos del medio al servicio de la funcionalidad de los distintos usos, de la potenciación de las prestaciones más adecuadas a cada perfil de uso y usuario, y a la reducción de los impactos sobre el ecosistema, la salud humana, el cambio climático y el uso de recursos materiales y energía, cumpliendo el objetivo de ser un edificio de Energía Casi Nula en coherencia con el compromiso adquirido para sus edificios por el Ayuntamiento de Madrid.



Figura 1. Vista General de la calle Fúcar.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Calles Costanilla de los Desamparados, 15; Fúcar, 6 y 8, de Madrid.
Uso Característico Edificio:	Dotacional Mixto
Zona Climática:	D3 (Madrid)
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	Total 21.592,58 m <sup>2</sup>

	Distribuidos así:	
	Centro de Día	1.598,20 m <sup>2</sup>
	Centro de Día personas Alzheimer	1.213,30 m <sup>2</sup>
	Escuela Infantil	1.215,49 m <sup>2</sup>
	Instalaciones Deportivas/Polidep. /Piscina	5.363,65 m <sup>2</sup>
	Instalaciones Cantón Limpieza	1.786,06 m <sup>2</sup>
	Aparcamiento Multimodal/Sist. Técnicos	8.017,00 m <sup>2</sup>
	Cubiertas Soportales/Patios	2.398,88 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Proyecto de Ejecución	

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno Economía y Hacienda. DG Patrimonio.
- Proyectistas: Alfonso Murga, Arquitecto Municipal de la DG de Patrimonio.
- Dirección Obra: Alfonso Murga, Arquitecto Municipal de la DG de Patrimonio.
- Otros Técnicos Intervinientes: FHECOR. Ingenieros Consultores. Desarrollo Proyecto Ejecución.
- Otros Agentes:
  - o Luis de Pereda Fernández. Arquitecto. Asesor para la eficiencia integral del proyecto.
  - o Alberto Sanz Montero. Ingeniero Industrial. EVRO. Sistemas técnicos e Instalaciones.
  - o Raúl Derungs. Arquitecto. Derungs Arquitectos. Desarrollo del proyecto arquitectónico.

### Antecedentes

Desde el año 2003 el Ayuntamiento de Madrid estudiaba la posibilidad de reutilizar el amplio espacio del solar situado en el centro de la Manzana del Barrio de las Letras situada entre las calles de Fucar, Moratín, Costanilla de los Desamparados y Gobernador, un espacio ocupado por las instalaciones de un cantón municipal de limpieza y un centro de atención a drogodependientes. El objetivo era desarrollar un programa de dotaciones que viniese a resolver una parte importante de las deficiencias en equipamientos sociales que el barrio acusaba, estando en pleno proceso de revitalización. Producto de este objetivo se aprobó en el año 2005 una Modificación del PGOU de Madrid, que determinaba los parámetros fundamentales de la implantación en este emplazamiento de un complejo dotacional mixto que estructuraba el espacio y la edificación de la manzana y que ya orientaba el edificio hacia objetivos exigentes de eficiencia y sostenibilidad, energética, hídrica, económica y social.

### Descripción del Proyecto

El edificio dotacional que el Ayuntamiento de Madrid promueve en las calles Fucar y Costanilla de los Desamparados del Barrio de las Letras está siendo proyectado para ser un modelo de actuación en cuanto a los objetivos de muy bajo consumo energético y sostenibilidad ambiental, social y económica, que el propio Ayuntamiento se ha comprometido a cumplir y sobre los que pretende ser ejemplar. El esfuerzo que lleva a esos objetivos no sólo implica las fases del proyecto y la construcción sino también las de la operación y el mantenimiento del edificio a lo largo de su ciclo de vida, para cumplir con los objetivos de eficiencia. En este edificio se plantea todo ese recorrido, lo que requiere la implicación y el compromiso para la innovación de los modelos de actuación y procesos de varias áreas municipales.

La clave de la eficiencia energética y de la sostenibilidad ambiental y económica del edificio es, básicamente, su capacidad para dar a los usuarios la máxima calidad ambiental con el mínimo consumo de recursos externos y el mínimo impacto sobre el entorno.

Como punto de partida, el edificio ha sido diseñado para utilizar los recursos bioclimáticos y gratuitos que encontramos en el medio urbano del Barrio de las Letras para reducir, la demanda externa de energía y agua:

- Se usan los recursos que proceden del clima: la radiación solar que aporta calor y agua caliente al edificio, la brisa que introducimos selectivamente en el edificio para refrescarlo por las noches aprovechando los cambios de temperatura que Madrid tiene entre el día y la noche, la luz natural, que se capta y canaliza para aportar abundante calidad de trabajo y estancia, ergonomía, a los sensibles usuarios de nuestro edificio, en todos los

usos: centro de ancianos y centro de Alzheimer, escuela infantil, polideportivo y piscinas, servicios municipales de limpieza, aparcamiento multimodal, espacios libres, restringidos, semipúblicos y públicos.

- Los recursos que proceden de la naturaleza subterránea de una parte importante de nuestro edificio, que protege y atempera muchos de los espacios destinados a usos deportivos y dotacionales y permite realizar intercambios de calor con el terreno para renovar el aire viciado con aire limpio y atemperado, para almacenar enormes cantidades de calor en el terreno en verano y utilizarlas en invierno o para enfriarlo y usarlo para refrigerar el edificio en verano.

Por otro lado, en nuestro edificio tiene mucha importancia utilizar energía residual y captar y usar recursos y energías renovables y del medio:

- La recuperación de energía de los propios procesos del edificio, el calor del agua residual, el calor y el frío del aire expulsado en la ventilación, el calor de los equipos; y también la incorporación de recursos energéticos renovables, energía solar térmica y fotovoltaica, intercambio y almacenamiento geotérmico que van a permitir cubrir una parte importante de la demanda de energía.
- La recuperación, tratamiento y reutilización por parte de los servicios municipales de limpieza, alojados en nuestro edificio, de toda el agua usada y procedente de la lluvia.

Finalmente, el edificio está dotado de medios para relacionarse de una manera dinámica con el medio exterior, adaptándose a él, y para interactuar con las personas que lo van a operar y mantener facilitando la información y los recursos de operación y mantenimiento que necesitan para hacerlo funcionar con la máxima calidad y el mínimo consumo.

Un sistema integrado de control, diseñado a la medida de las estrategias de eficiencia de cada espacio y uso, diseñadas a medida de los muchos escenarios en los que se combinan, clima y uso, para la gestión de los recursos del medio, para la captación, el almacenamiento y el uso de la energía y el agua, que va a permitir una transformación y aprovechamiento racional y sostenible de esos recursos y un proceso continuo de mejora de la gestión a lo largo de toda la vida del edificio.

Pero, además, este edificio tiene una vinculación muy especial con la ciudad y con el barrio de las Letras en particular. Más allá de su carácter dotacional como prestatario de servicios muy importantes para todo el espectro de población del Barrio, su implantación se resuelve agregando espacio público a las calles, generando espacios de paso y recorridos entre ellas a través del edificio y creando nuevos espacios ajardinados en su interior.

A la vinculación del edificio con el entorno social y urbano se puede agregar una vinculación energética con los sistemas generales de infraestructuras de la Ciudad. Un plano de la eficiencia urbana en las ciudades inteligentes que está siendo desarrollado desde hace años en nuestro entorno Europeo y en el que la ciudad de Madrid comienza a profundizar, un modelo sostenible de recuperación e integración en los edificios municipales de recursos energéticos infrutilizados en las redes urbanas de infraestructuras.

## Prestaciones del Edificio

El edificio está concebido para un muy alto nivel prestacional:

- Muy alta calidad del aire en espacios destinados a niños, ancianos y personas realizando una intensa actividad física. Control higrotérmico total mediante pretratamiento geotérmico del aire, humectación controlada, funcionamiento variable por detección de calidad del sistema de renovación del aire.
- Muy alta calidad en la transferencia térmica. Optimización de la temperatura operativa y adecuación interactiva a la fisiología humana, especialmente de usuarios sensibles, niños y ancianos, mediante la utilización de sistemas termoactivos de calefacción y refrescamiento a través de la estructura de hormigón del edificio.
- Flexibilidad y muy alta capacidad de adecuación dinámica a escenarios cambiantes en la combinación de situaciones dinámicas de uso y clima. Sistema de gestión, control y mantenimiento integrado y orientado a la eficiencia.
- Tecnología y equipamiento para la gestión de aire, agua y energía en rangos moderados de intensidad y para la integración de recursos del mismo rango procedentes del medio y de la recuperación de recursos. Sistemas con bajo mantenimiento y largo ciclo de vida
- Bajo consumo de recursos primarios.

- Muy bajo impacto sobre la salud humana, el cambio climático, los ecosistemas y el consumo de recursos.
- Prestaciones sociales y ambientales a escala del barrio y la ciudad.

## Participación en líneas de Proyectos Europeos

El Ayuntamiento de Madrid estudia, sobre este edificio, la participación en varias líneas de proyectos para la sostenibilidad y la eficiencia promovidas por la Comisión Europea. En un momento en el que los objetivos europeos de eficiencia se identifican con la prestación de servicios, la gestión, el flujo de la información y la participación y formación ciudadana, el trabajo que se está realizando en este proyecto, puede dar impulso importante y materializar la convergencia de los objetivos de la Comisión Europea con los objetivos del Ayuntamiento de Madrid.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

El edificio se configura constructivamente como un sistema diseñado para canalizar, controlar, almacenar, distribuir y recuperar los recursos que proceden del medio y transferírseles en las mejores condiciones a los usuarios. Hablamos del edificio como gestor dinámico e interactivo de la luz, el aire, el calor, el agua, el sonido, y los factores ergonómicos, que en cada situación y cada tipo de usuario debe contemplar los mecanismos de gestión y las intensidades pertinentes.

Esta consideración del edificio como “intermediador” entre el medio y el hombre, está presente en todas las decisiones de diseño que se están tomando en este proyecto.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

En el edificio se integran dos sistemas estructurales:

- El sistema inercial de hormigón, que resuelve toda la estructura interior del edificio, losas y pilares, toda la estructura de cimentación y contención subterránea, que en nuestro edificio es proporcionalmente muy importante, y la sustentación de las piscinas a través de un sistema mixto de jácenas y vasos de hormigón. El aspecto más significativo de esta estructura de hormigón es que en nuestro proyecto el hormigón de las losas, que está en contacto con los usuarios, es termoactivo, es decir, absorbe, difunde y almacena calor y constituye el sistema de temperatura moderada que resuelve la climatización; y los pilotes – pantalla de hormigón en contacto con el terreno son también termoactivos y resuelven el intercambio de calor entre el edificio y el terreno en un sistema geotérmico, complementado con intercambiadores verticales. Ambos sistemas termoactivos integrados cubren la mayor parte de la demanda de climatización del edificio y en integración con el sistema de intercambio geotérmico para el pretratamiento del aire, construido como una red de conductos de intercambio entre las cimentaciones, resuelven el sistema de calidad ambiental.
- El sistema no inercial de estructuras metálicas, que en nuestro proyecto resuelve el esqueleto de las envolventes, en particular cuando éstas adquieren la forma más adecuada a la canalización, control y gestión de los recursos que a través de las envolventes se obtienen del medio. Así las cubiertas y fachadas se configuran y estructuran por capas especializadas sobre un esqueleto metálico y ligero.

En ambos casos hay un criterio subyacente que tiene componentes geométricas, dimensionales y constructivas, que es el de la flexibilidad, directamente vinculado a la prolongación del ciclo de vida y a la sostenibilidad.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

Las envolventes de nuestro edificio responden directamente a las distintas estrategias de comportamiento del edificio que se diseñan en el proyecto para los distintos escenarios combinados de clima y uso. Constituyen un sistema de gestión: transferencia, control, aislamiento, almacenamiento y gestión de recursos. Su naturaleza constructiva es la de un sistema multicapa en el que se integran planos especializados en la gestión de los distintos recursos del medio y sistemas de detección y control que dirigen su reconfiguración.

Los aspectos particulares sobre la concepción de envolventes y acabados en nuestro edificio son:

- Envolvente área: gestiona el control, reflexión o incorporación, de la radiación solar y la iluminación natural con filtros fijos y móviles de aluminio perforado; gestiona el flujo de aire a través de lucernarios, rejillas, y ventanas;

gestiona la transferencia térmica; canaliza y matiza la luz natural; refleja la luz hacia los espacios y los edificios del entorno y capta y canaliza recursos de agua del medio.

- Envoltente subterránea: gestiona el intercambio térmico con el terreno para enfriar o calentar aire o agua para los sistemas de ventilación y climatización y contribuye al atemperamiento de los espacios subterráneos
- Acabados exteriores. armonizan el edificio y entorno a escalas cromáticas, lumínica, y comunicativa.
- Acabados interiores: resuelven la transferencia térmica y contribuyen al control acústico.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

En nuestro edificio se resuelven, por orden lógico de aplicación:

- Sistemas integrados para gestionar los recursos gratuitos procedentes del medio.

Aprovechamiento bioclimático: control y gestión de radiación, aprovechamiento de luz natural, gestión de la ventilación natural asociada a la amplitud térmica (free cooling nocturno), captación solar directa, captación solar térmica (aplicada a la generación de agua caliente para piscinas y ACS), captación solar fotovoltaica (aplicada a la alimentación eléctrica de los sistemas de gestión).

- Sistemas integrados de aprovechamiento de las condiciones inerciales del edificio y del terreno.

Intercambiador geotérmico para el pretratamiento térmico del aire aplicado a la ventilación e intercambiador geotérmico integrado en las pantallas perimetrales de pilotes y complementado con intercambiadores verticales aplicado al suministro de agua caliente o fría a los sistemas radiantes de losas termoactivas que resuelven la climatización del edificio en interacción con los sistemas de renovación y tratamiento de aire.

- Sistemas técnicos de funcionamiento variable para el tratamiento higrotérmico del aire.
- Sistemas de apoyo puntual para la demanda de calor y frío.
- Sistema integrado de control, gestión, operación y mantenimiento.

### **Calefacción**

Intercambiador geotérmico integrado en las pantallas perimetrales de pilotes y complementado con intercambiadores verticales aplicado al suministro de agua caliente o fría a los sistemas radiantes de losas termoactivas que resuelven la climatización del edificio en interacción con los sistemas de renovación y tratamiento de aire, que estarán dotados de baterías de temperatura moderada alimentadas por el sistema de bomba de calor geotérmica.

### **Refrigeración**

Intercambiador geotérmico integrado en las pantallas perimetrales de pilotes y complementa con intercambiadores verticales aplicado al suministro de agua caliente o fría a los sistemas radiantes de losas termoactivas que resuelven la climatización del edificio en interacción con los sistemas de renovación y tratamiento de aire que estarán dotados de baterías de temperatura moderada alimentadas por el sistema de bomba de calor geotérmica.

### **Ventilación**

Intercambiador geotérmico para el pretratamiento térmico del aire aplicado a la ventilación que alimenta la unidad de deshumectación de la piscina y las unidades de tratamiento de aire de las diferentes áreas con aire precalentado o preenfriado, con un índice de ahorro superior al 50%.

Unidades de tratamiento higrotérmico del aire dotadas de sistemas de humectación, detección de calidad del aire y funcionamiento variable.

### **Iluminación**

Sistema DALI para la integración y gestión de los recursos de iluminación natural y artificial. Sectorización, detección de presencia, intensidad luminosa, gestión horaria, seguridad. Tecnología de diodos luminosos para la integración del control electrónico.

### **Automatización y Control**

Sistema integrado por elementos de campo, control distribuido y centralizado, actuadores, medición de consumos, generación de información para el gobierno del sistemas, informes estadísticos y predicciones. Orientado a la gestión del comportamiento variable del edificio y a la aplicación de configuraciones adecuadas a las estrategias de

funcionamiento que obtienen la máxima eficiencia en cada uno de los distintos escenarios identificados en el proyecto en combinación de los cambios del clima y del uso.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto de este edificio en el momento en que se está redactando el Proyecto de Ejecución se ajusta a un entorno de 20.000.000 de euros (IVA incluido).

El objetivo del proyecto de un complejo dotacional que es un instrumento de prestación de servicios, es lograr el equilibrio económico en la inversión en la fase de ejecución de obras y equipamiento compensando el coste de las mejoras en los sistemas envolventes e intercambiadores de energía con la reducción de costes que supone la reducción de potencias y equipos que se deriva de una drástica reducción de la demanda. Conseguido el equilibrio en el coste de construcción, los costes de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida serán muy inferiores a los estándares del mercado y los costes asociados al consumo de energía y recursos primarios serán proporcionalmente muy pequeños. La viabilidad económica la asegura, en cada una de las fases, el equilibrio entre el coste de lo agregado y la reducción de coste de los equipos y recursos vinculados a los consumos.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

El proyecto está orientado a la excelencia y a la optimización de las prestaciones y el servicio. Excede el cumplimiento las prescripciones normativas vigentes.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	20 Kwh/m2 año
Demanda Calefacción:	10 Kwh/m2 año
Demanda Refrigeración:	15 Kwh/m2 año
Aporte Renovables: Energía solar térmica Energía solar fotovoltaica Geotermia en tratamiento del aire Geotermia en climatización	80% sobre el total demandado.
Emisiones CO2 Edificio:	-----
Otros: Recuperación aguas, pluviales, grises	15 m3 / día

## IMÁGENES PROYECTO



Figura 2. Vista de la Plaza ajardinada interior.

## AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PALACIO DE CONGRESOS DE VITORIA-GASTEIZ BAJO EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS ENERPHIT

**Resumen Proyecto:** El Palacio de Congresos Europa en Vitoria parte en origen de un edificio de los años 80 que con las últimas obras de ampliación y de rehabilitación ha alcanzado reconocimientos como la calificación energética A, el PassivHaus EnerPHit, y LEED ORO y un ahorro anual en su consumo energético del 60%. El proceso de transformación partió de una auditoría energética que permitió fijar los objetivos citados. La certificación EnerPHit, equivalente a la certificación PassivHaus en el campo de la rehabilitación, limita la demanda energética y las infiltraciones del edificio, en este caso muy complejo al tratarse la ampliación con cerramientos ya existentes y colinantes con la parte de edificio rehabilitada. En la ampliación, un aislamiento térmico óptimo con espesores de hasta 26cm, el alto nivel de estanqueidad al aire en la envolvente y la alta eficiencia energética en los equipos activos con unidades de recuperación fueron las claves para alcanzar la certificación. Desde el sistema de gestión o BMS se gobiernan las instalaciones del edificio, entre otras, climatización e iluminación. Además, permite hacer un seguimiento de los consumos de gas, electricidad, biomasa, agua de red, agua de lluvia y producción de energía fotovoltaica por medio de los informes de consumo. Del análisis de esos informes y del funcionamiento de los equipos se detectan errores y se optimiza energéticamente el sistema. Adicionalmente, la aplicación emite un informe la huella de carbono por cada congreso a partir de los datos de ocupación y horarios introducidos.



Figura 1. Fachada principal Avenida Gasteiz.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Avda Gasteiz 85, Vitoria-Gasteiz
Uso Característico Edificio:	Terciario, Palacio de Congresos
Zona Climática:	D1
Obra Nueva / Rehabilitación:	Rehabilitación y ampliación central
Superficie Total Construida:	19.000m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Noviembre 2015
Otros:	Noviembre 2016. Seguimiento y optimización durante un año



## MEMORIA DESCRIPTIVA

El programa inicial del edificio se ha visto notablemente transformado y ampliado. Prueba de ello es la ocupación máxima del mismo, casi cuadruplicada, que pasa de 1.500 a 5.950 personas. El edificio se organiza en tres grandes zonas: El ala norte para congresos y reuniones, el ala sur que antes albergaba usos deportivos y ahora está destinada a espacio expositivo, y el nuevo cuerpo central ejecutado bajo el estándar PassivHaus, objeto de desarrollo en la presente ficha. En la ampliación central se acondicionó el nuevo auditorio María de Maeztu con un aforo de 791 butacas que disfruta de una especial versatilidad, ya que los asientos de la zona horizontal de la platea se desplazan sobre unos raíles empotrados en el suelo para ocultarlos bajo el escenario, dejando el espacio que antes ocupaban totalmente libre. Además, se acondicionó la sala Avenida que sirve de mirador a la también reciente renovada Avenida Gasteiz de un formato menor. También se ha ejecutado un restaurante en planta tercera y una cafetería en la planta de cubierta que con la zona ajardinada aporta una sinergia al explotador, ampliando todavía más sus posibilidades. El conjunto de actuaciones ha supuesto pasar de un edificio con una superficie construida de 13.000 m<sup>2</sup> a uno de 19.000 m<sup>2</sup>.

## Agentes del Proyecto

La ampliación perseguía la consecución de exigentes objetivos energéticos y ambientales y para afrontar este reto se contó con un equipo complejo y coordinado de profesionales seleccionados mediante concurso. El proyecto Básico lo redactó el equipo de arquitectura e ingeniería de IDOM. La redacción del proyecto y ejecución de la obra fue adjudicada a Lurgoien S.A. que contó con el despacho de arquitectura de Izaskun Larzabal Arkitektura/Hirigintza. La Dirección de la Obra también la llevó IDOM y Lurgoien S.A. contó con dos equipos más, EnergieHaus Arquitectos (Barcelona) y Varquitectos (Ansoain, Navarra), especializados en el diseño y control del comportamiento energético de edificios aplicando los estándares del instituto PassivHaus, del cual el distintivo EnerPhit Pilot Project es su versión para rehabilitación en edificios singulares.

Incluir Agentes tipo:

- Promotor: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz
- Proyectistas: Izaskun Larzabal Arkitektura/Hirigintza
- Dirección Obra: Idom
- Empresa constructora: Lurgoien S.A
- Otros Agentes: EnergieHaus Arquitectos (Barcelona) y Varquitectos (Ansoain, Navarra)

## Antecedentes

En el 2011, el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz tuvo que decidir entre construir un edificio de nueva planta o rehabilitar, modernizar y ampliar el ya existente. Dos factores decantaron la balanza hacia la rehabilitación. Por un lado se acometió la reurbanización profunda de la Avenida Gasteiz, calle que forma parte del Anillo Verde Interior y en la que se sitúa el Palacio de Congresos, por otro, la ciudad obtuvo el galardón European Green Capital 2012. La decisión planteó varios retos importantes puesto que, por una parte, se trabajaba sobre un edificio construido en los años 80, con unas prestaciones técnicas tanto en medidas pasivas como en sistemas activos muy por debajo de las exigencias normativas actuales, y por otra parte la obra debería llevarse a cabo manteniendo la actividad en el complejo durante toda la construcción.

## Descripción del Proyecto

La ampliación se llevó a cabo en un espacio libre de parcela sin ocupación en planta baja. Con la actuación se dota al edificio de un nuevo auditorio para 800 personas, el auditorio María Maeztu, la sala Avenida que resulta ser además de un gran espacio mirador sobre la reformada Avenida Gasteiz, un restaurante y una gran cubierta que se eleva sobre el resto del edificio la cual contiene una cafetería-terraza y un amplio espacio destinado a jardín vegetal, ambos de uso público y con acceso directo desde la Avenida Gasteiz a través de un emblemático núcleo de comunicación que sirve de icono para el edificio en el corredor vegetal donde se ubica y acceso también para el restaurante.

## Prestaciones del Edificio

El edificio está destinado a actividad congresual con los usos que deriven de estas actividades. El programa inicial se ha visto notablemente transformado y ampliado y la ocupación se ha cuadruplicado pasando a ser de 1.500 a 5.950 personas. Por la tipología de las salas de diversos formatos y tamaños se permite la actividad de hasta 20 grupos de trabajo simultáneos, distribuidos en sus 11 salas de conferencias, 2 salas de apoyo y 7 espacios polivalentes.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La nueva estructura proyectada se presenta como una ampliación y adecuación en muchas partes de la ya existente sobre la que fue necesario ejecutar refuerzos en cimentación y estructura de planta baja. La contención perimetral de parte del sótano a ejecutar, así como la envolvente del auditorio se resuelve mediante muros de hormigón armado. Los muros dispuestos en la zona de los anfiteatros tienen su arranque sobre la losa de hormigón armado existente en planta baja, lo que ocasiona la necesidad de tener que ejecutar nuevos pilares bajo la misma y reforzar la misma. La cubierta transitable y ajardinada del edificio proyectado, se plantea a través de un entramado de celosías y perfilaría metálica sobre el que se apoya el forjado colaborante. Estas mismas celosías sirven también de sustento de la fachada de la calle Bolivia, de la estructura inferior de los voladizos de la Avenida y del techo del auditorio y escenario.

### Sistemas de Envoltentes y Acabados

La fachada ventilada se resuelve con chapa de acero, 40% reciclado y reciclable, perforada y doblada sobre una solución de sistema sate con un aislamiento de 20cm de grosor. Todo ello sobre un soporte resistente a base de ladrillo media asta hueco doble en gran formato con un raseo hidrófugo en su cara exterior. Las lamas verticales con perforación en las zonas acristaladas actúan como protección solar y las perforaciones de distintos diámetros le dan un aspecto abstracto y singular. La carpintería exterior está conformada por carpintería de PVC marca RHEAU con triple acristalamiento  $U=0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . La cubierta transitable tiene un aislamiento de 20cm y cuenta con una zona ajardinada de 550m<sup>2</sup>, que igual que la fachada vegetal este replica los tres ecosistemas vegetales del territorio municipal.

### Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

Para la producción de calor en la ampliación se instaló una caldera de Biomasa de 270 kW que junto con las dos calderas de gas ya existentes de 600kw completaron la producción general del edificio. La regulación da prioridad a la caldera de biomasa, de manera que la energía entregada por la misma se distribuya por el conjunto del edificio y no solo en la zona centro.

#### *Calefacción*

Para la producción de calor en la ampliación se instaló una caldera de Biomasa de 270 kW que junto con las dos calderas de gas ya existentes de 600kw completaron la producción general del edificio. La regulación da prioridad a la caldera de biomasa, de manera que la energía entregada por la misma se distribuya por el conjunto del edificio y no solo en la zona centro.

#### *Refrigeración*

Para la producción de frío en la ampliación se instaló una enfriadora a 4 tubos (recuperación total) condensada por aire. La recuperación de calor se conecta en el colector de baja temperatura, de manera que se pueda utilizar en otros todos locales del edificio que se demande.

#### *Ventilación*

La ventilación controlada obligatoria según CTE se resolvió mediante equipos de alto rendimiento, con una recuperación de calor media estimada del 66%. Según los certificadores PassivHaus, este rendimiento no coincide con el declarado por el fabricante de los equipos instalados, sino que se trata de un valor conservador que los diseñadores EnerPHit utilizan en la simulación conforme el protocolo de certificación. Se emplean unidades de tratamiento de aire con recuperadores de calor de rendimiento mínimo 75% sobre el calor sensible, compuertas para enfriamiento gratuito y by-pass del recuperador. En el auditorio se instalan 4 unidades (dos de ellas sin recuperador).

**Iluminación**

Se han instalado luminarias tipo led en las zonas comunes y en las salas. En aseos y pasos de circulación sin iluminación natural se han instalado detectores de presencia. En la sala Avenida y en hall de acceso y atrio central la iluminación tipo led pero cuenta son sondas lumínicas que ajustan el nivel de iluminación que debe aportar la instalación en función del grado de luminosidad estimado para esos espacio y el aporte de luz natural.

**Automatización y Control**

Desde el sistema de gestión del edificio o BMS se gobiernan las instalaciones del edificio, climatización, iluminación, audiovisuales, incendios, sistema de oscurecimiento y exutorios. Los gestores introducen los periodos de eventos/actos y la intensidad (ocupación) de los mismos, para que la instalación se regule y busque la temperatura de consigna en función del tipo de actividad: “actividad baja” para los montajes y desmontajes, “actividad alta” para aquellos actos que tengan previsto una alta ocupación y “actividad media” para los restantes. Siempre con los límites que marca la normativa no más de 22 grados en invierno y menos de 26 grados, en verano.

Además permite hacer un seguimiento de los consumos con los contadores de energía y analizadores de red instalados, lo que permite esgrimir el consumo de cada zona. Con los informes que emite la aplicación se hace un seguimiento del funcionamiento del sistema lo que permite detectar errores y problemas de funcionamiento de la instalación para poder seguir optimizando los consumos con el confort requerido. En una pantalla ubicada en el hall de acceso del edificio son visualizados los datos en tiempo real.

**Reutilización de agua de lluvia**

El agua de lluvia recolectada en las cubiertas se almacena en dos puntos. El primero es el grueso de las propias cubiertas vegetales, que retiene bajo el sustrato parte de las precipitaciones en los pequeños recipientes existentes en la lámina de nódulos que incluyen, manteniendo así un cierto nivel de humedad, y reduciendo por lo tanto la necesidad de riego tras periodos de lluvia. El segundo punto de almacenaje se sitúa en la planta sótano. La acumulación de agua de lluvia en dos depósitos permite cubrir el 80% de las necesidades de riego de la fachada y de la cubierta ajardinada del edificio, que es mediante goteo, reduciendo así la evaporación y por lo tanto el consumo hídrico.

**Energías Renovables in situ. Instalación Fotovoltaica**

La instalación fotovoltaica, obligatoria por CTE, alimenta directamente la red de baja tensión del propio edificio y nunca vierte la energía generada a red. La instalación fotovoltaica estará formada por 105 paneles de 250 Wp. El consumo del edificio en stand-by es siempre suficiente para absorber esta producción.

**Estanqueidad del aire**

Representa uno de los puntos clave para poder reducir los consumos significativamente, ya que las infiltraciones incontroladas de aire representan una fuga también incontrolada de energía. Si conseguir una buena estanqueidad ya resulta complejo en obra nueva, en rehabilitación són aún más difíciles de detectar los puntos por los que el aire atraviesa la piel del edificio y sellarlos. Es por esta razón el sello EnerPHit permite un valor de infiltraciones de 1'0 ren/h, mayor que las 0'6 ren/h del sello PassivHaus bajo una diferencia de presión de 50Pa entre el interior y el exterior del edificio, equivalente a un viento sostenido de 30Km/h.

El Palacio de Congresos Europa contaba además con dificultades como las dos medianeras que unen la nueva ampliación con las alas norte y sur, muy extensas y no estancas, ya que incluyen puertas no herméticas.

**PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

El presupuesto de contrata asciende a 5.052.230,24 euros sin IVA (657,52 €/M<sup>2</sup>). La ejecución del proyecto de rehabilitación energética y ampliación del Palacio fue una contratación, mediante concurso, por parte del Ayuntamiento a una Empresa Constructora (Lurgoien S.A.) para que desarrollase el Proyecto Básico redactado por IDOM. Para ello Izaskun Larzabal redactó el Proyecto de Ejecución correspondiente, para que posteriormente la Dirección de obra fuese, mediante concurso, realizada nuevamente por IDOM.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Según cálculos realizados por los diseñadores responsables EnerPHit, la parte central del edificio se prevé que tenga una demanda de calefacción de 20 kWh/m<sup>2</sup>a, correspondientes a una carga de calor el día más frío del año de 16 W/m<sup>2</sup>. En verano, la demanda de refrigeración será de 5 kWh/m<sup>2</sup>a, con una carga de frío de 6W/m<sup>2</sup>. Para el edificio de referencia, uno idéntico en geometría orientación al analizado pero que cumpliera solamente los mínimos requerimientos establecidos el Código Técnico, los resultados hubiesen sido una demanda para calefacción de 92 kWh/m<sup>2</sup> y de 5 kWh/m<sup>2</sup>a para refrigeración.

Si comparamos los resultados de uno y otro caso, vemos que durante el invierno se alcanza una mejora del 460%. El ahorro es de 320.000 kWh anuales. Esta cifra equivale aproximadamente a 35.555 litros de gasolina, o bien 711.000 km de viaje (18 vueltas al mundo) de un coche tamaño mediano. Suponiendo un coste de la energía de 0,05 €/kWh en forma de Pellets, y de 0,2 €/kWh cuando hablamos de energía eléctrica, el ahorro económico anual asciende a unos 28.000 €/a.

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

La auditoría energética inicia fijó el primer objetivo de reducción del consumo del nuevo edificio de un 60% desde su situación inicial. Se partió como referencia el año 2012 donde los consumos del edificio original para sus 35.000 asistentes y 8.634 m<sup>2</sup> fueron 817.956,58 kwh de energía y 340.488,90 kwh de electricidad. Siendo entonces la base de consumo de 196,01 kWh/m<sup>2</sup>-año y 48,35 kWh/persona-año.

Analizados los datos del año 2016 finalizado el primer año de seguimiento con un edificio de 11.112m<sup>2</sup> calefactados y 69.000 asistentes los consumos fueron 873.709 kwh de energía y 457.514 kwh de electricidad, se ha constatado una reducción del 50% teniendo en cuenta que se ha duplicado la actividad congresual.

En la ampliación se ha alcanzado la certificación EnerPHit equivalente a la certificación PassivHaus en el campo de la rehabilitación y una calificación energética A en todo el edificio en su conjunto. La calidad ambiental de la zona ampliada, valorada en muchos otros aspectos además de los energéticos, ha alcanzado el nivel ORO en la certificación LEED.

## IMÁGENES PROYECTO

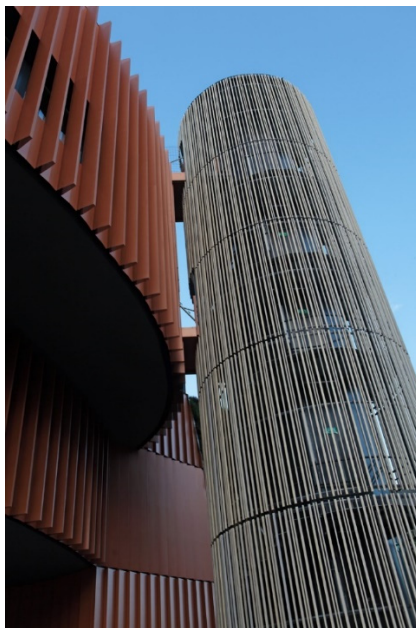


Figura 2. Núcleo comunicación exterior, restaurante terraza.



*Figura 3. Hall acceso.*



*Figura 4. Atrio Hall acceso.*



*Figura 5. Cubierta ajardinada.*



*Figura 6. Auditorio María Maeztu.*



Figura 7. Lucernario hall acceso. Vidrio seguridad cámara argón 12 mm.



Figura 8. Aislamiento fachada 20 cm.



Figura 9. Test de Blower Door.

## UN EECN EQUIPAMENTAL: ESCUELA INFANTIL EN VITORIA-GASTEIZ

**Resumen Proyecto:** El Proyecto tiene por objeto principal la futura construcción de un nuevo edificio de 6 unidades de Educación Infantil en el CEIP Luis Elejalde HLHI de Vitoria-Gasteiz. El diseño del edificio nace desde la preocupación por la responsabilidad de cumplir las Directrices de la Unión Europea en materia de emisiones por lo que se llevan a cabo las siguientes estrategias:

- Medidas pasivas:
  - o Diseño diferenciado según fachada.
  - o Fachadas prefabricadas CLT (madera autóctona)
  - o Materiales sostenibles
  - o Gran aislamiento térmico en todas las fachadas, cubiertas y suelos (altamente superiores a los mínimos exigidos por el CTE)
  - o Estanqueidad del edificio
- Medidas activas
  - o Bomba de Calor de Alta Eficiencia:
  - o Paneles solares fotovoltaicos: (Se calculará para que en ningún momento la potencia generada energía por unidad de tiempo) sea mayor que la potencia demandada)
  - o Ventilación mecánica: recuperación de calor
  - o Otras medidas de ahorro ( AFCH, Iluminación, etc.)



Figura 1. Vista de las Fachadas Captadoras SE y SO.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	CEIP Luis Elejalde - Rogelia de Alvaro HLHI de Vitoria-Gasteiz (Araba)
Uso Característico Edificio:	Educacional
Zona Climática:	D1
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra nueva- ampliación
Superficie Total Construida:	892,51 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	Licitación

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Departamento de Educación.
- Proyectistas: LUZYESPACIO, Ramón Ruiz-Cuevas Peña, arquitecto e Iñigo Azcarate Mutiloa, arquitecto colaborador.
- Dirección Obra: Ramón Ruiz-Cuevas Peña
- Otros Técnicos Intervinientes:
  - o Director de Ejecución Material: Luis Alberto Martínez de Sarría / José Luis Montoya
- Otros Agentes: Sistema de envolvente de madera prefabricada local: Egoín.

### Antecedentes

La sostenibilidad, el ahorro de energía y de emisiones es un tema de capital importancia, ya que el campo edificatorio en Europa demanda el 40% de la energía total consumida. El Código Técnico de la Edificación contempla una mejora en los requerimientos de aislamiento térmico en los edificios con una reducción de los valores límite de transmitancia térmica para las doce zonas climáticas establecidas y reducir las demandas energéticas de los edificios consiguiendo así, disminuir los impactos ambientales. En estos momentos, se está redactando un nuevo CTE-HE con mayores exigencias con el objeto de cumplir la Directiva Europea 31/2010.

El objetivo marcado por el Departamento de Educación es obtener la Certificación Energética más alta, es decir, la clase "A", incluso de llegar a un *Edificio de consumo de Energía Casi Nulo* (EECN).

### Descripción del Proyecto

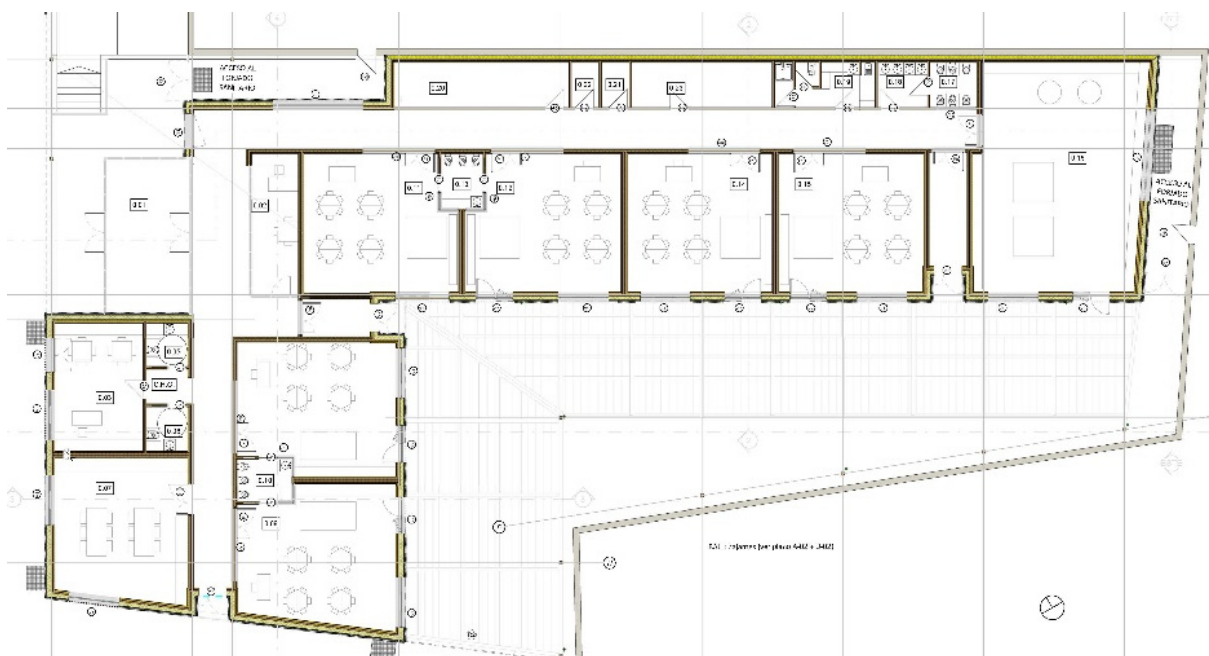


Figura 2. Planta.

El Proyecto es una ampliación de un colegio existente en Vitoria-Gasteiz. Se utiliza el patio interior de manzana. Por lo tanto no se consume suelo, proporcionando un objetivo sostenible de redensificar la ciudad sin consumir nuevo suelo.

El nuevo edificio presenta forma de 'L' en planta: el 'brazo' largo se adhiere a la medianera Norte (fachada de morfología 'aserrada') del ensanchamiento del espacio abierto, con direccionalidad Este-Oeste, y disponiendo los



espacios de servicio (instalaciones, almacén y cuartos de limpieza y aseos) hacia la medianera Norte, mientras que las aulas se abrirían al patio propio del nuevo edificio con orientación Sur. El ‘brazo’ corto termina de delimitar el patio propio de la Escuela Infantil, configurando a su vez el acceso principal de la misma en su fachada oeste. En la parte cóncava de la ‘L’ se configura la zona de patio de juegos y porches cubiertos de la escuela infantil, a la misma cota que el resto del patio (pistas deportivas) del centro escolar y conectándose físicamente con el mismo. La relación directa aulas –patio es muy recomendable para el funcionamiento de una escuela infantil.

En lo que respecta al volumen edificatorio, éste se configura de modo compacto en una sola planta, remarcando la zona de acceso hacia el exterior por medio del espacio cubierto. La forma en ‘L’ de la edificación posibilita la creación de una zona de juegos con orientación Sur y Este dotando de privacidad a la misma respecto al resto del patio.

La zona de patio de juegos se plantea abrazada por la edificación, generándose un espacio delimitado y privado para la zona infantil aunque conectado físicamente con el resto del patio (pistas deportivas). Esta zona de juegos se cubre parcialmente mediante elementos traslúcidos (placas de policarbonato) con una geometría orgánica y perforada con el objetivo de integrar los árboles existentes en la zona de patio y de favorecer la entrada de luz con el objetivo de que sea un espacio agradable y luminoso. Las zonas cubiertas se enlazan con los puntos de salida al patio desde el distribuidor interior del edificio.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

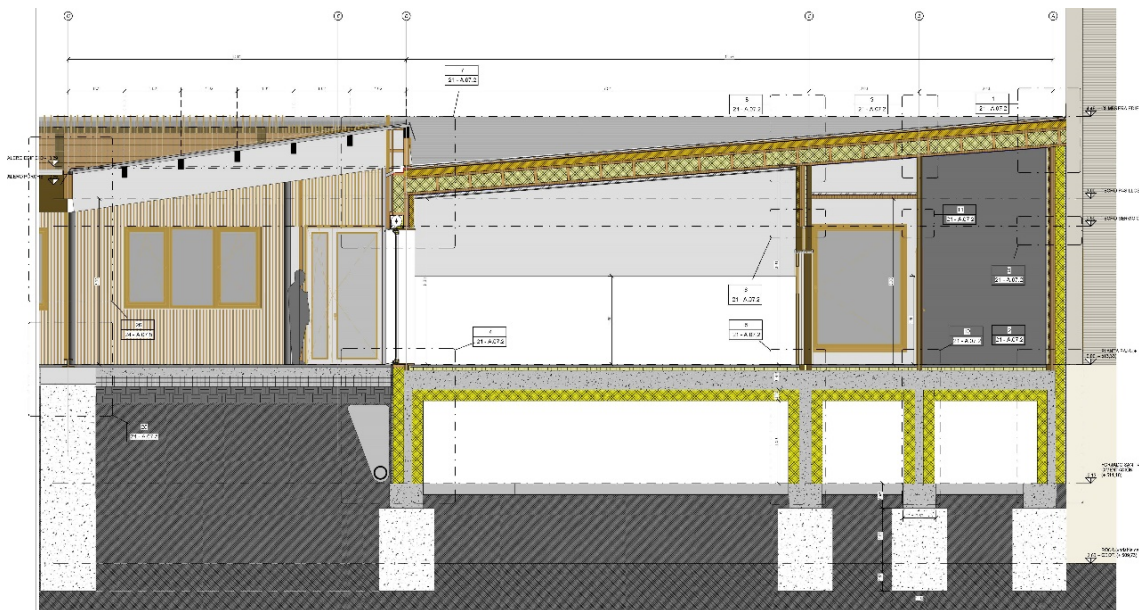


Figura 3. Sección transversal.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Se aconseja la cimentación directa de los pilares de la futura edificación mediante zapatas aisladas o pozos apoyados sobre la roca sana, ya que tanto el espesor de suelos aluviales, como de roca meteorizada es mínimo, y no resulta aconsejable la cimentación en rellenos.

En términos generales, al tratarse de una construcción de una única planta, se propone una tipología edificatoria ligera mediante una estructura de madera sobre rasante, siendo el apoyo en el terreno mediante el empleo de hormigón armado.

De acuerdo con la información geotécnica que se dispone de la parcela, se plantea una cimentación superficial a base de zapatas corridas de hormigón armado complementadas por pozos de cimentación para un apoyo directo en el sustrato resistente. Con un forjado sanitario para mantenimiento de las instalaciones.

## Sistemas de Envolventes y Acabados

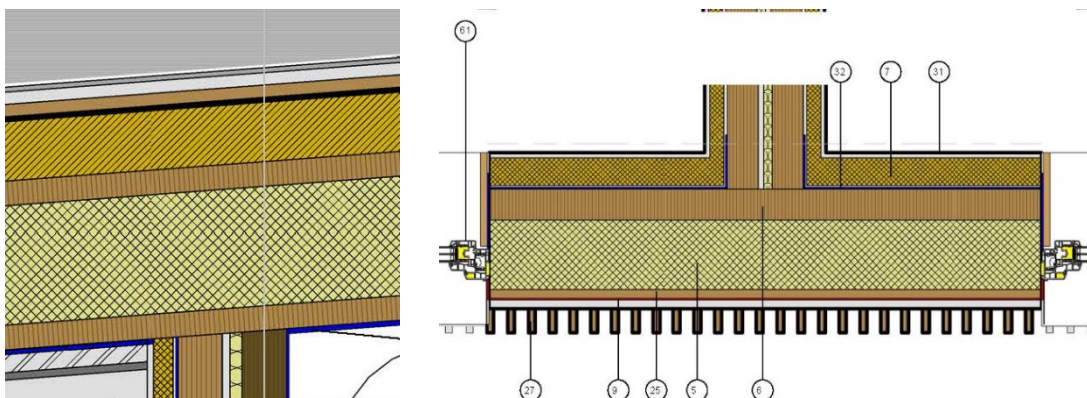


Figura 4. Detalle constructivo de cubierta (izq.) y Figura 5. Sección constructiva de la envolvente térmica y la envolvente de estanqueidad continuas (dcha).

En cuanto a la cubierta, la misma es del tipo inclinado a un agua con formación de pendiente mediante el propio panel de forjado. La composición de la cubierta sobre el panel de forjado es la siguiente:

- Manta mineral IBR de espesor 120 mm.
- Lámina impermeabilizante tipo WS o similar (transpirable).
- Doble rastrel para zinc 25 x 50 mm. de pino radiata tratado.
- Acabado mediante lámina de zinc engatillado de espesor 0,6 mm.

Se dotará a la cubierta de amplios pesebres. Estéticamente se dotará de un antepecho con acabado igual al de fachada que ocultará la cubierta inclinada. En el caso de la fachada interior, se dispondrá de un antepecho 'permeable' al aire entre la fachada y la cubrición del porche facilitando la ventilación cruzada en la zona de patio cubierta, configurada mediante elementos verticales de madera.

La cubrición de la zona de juegos del patio se realizará mediante placas de policarbonato: sistema *Dampallon* o similar, con el fin de dotar de iluminación natural al patio.

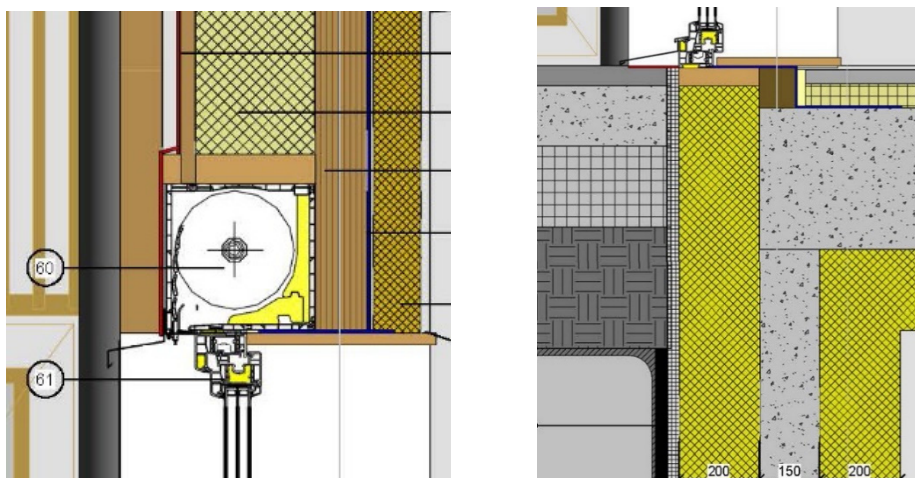


Figura 6. Detalle de hueco en fachada (izq.) y Figura 7. Detalle constructivo de encuentro con el suelo (dcha).

La composición de la fachada (de interior a exterior) es la siguiente:

- Acabado interior mediante trasdosado de cartón-yeso.

- Aislamiento de lana de vidrio (espesor 80 mm.) en interior de trasdosado.
- Barrera de estanqueidad continua (a cara interior de muros de carga exteriores).
- Panel exterior de madera tipo CLT90.
- Aislamiento térmico baja densidad de lana de vidrio (espesor 200 mm.).
- Doble rastrel 25 x 50 mm. de pino radiata tratado.
- Membrana impermeable transpirable exterior tipo - Lamas verticales de alerce 70x20 mm. separados 40 mm (entre ellos 100 mm. en ventanas).

La medianera con el pabellón colindante presenta la siguiente composición (de interior a exterior), teniendo en consideración que debe ofrecer una resistencia al fuego EI120:

- Doble paca de Pladur Foc.
- Aislamiento de lana de vidrio (espesor 80 mm.) en interior de trasdosado.
- Panel exterior de madera tipo CLT90.
- Aislamiento térmico XPS (espesor 160 mm.).
- Membrana impermeable transpirable exterior tipo Delta Fassade o similar.

Las ventanas exteriores se resuelven con carpinterías con rotura de puente térmico de PVC ( $U_m < 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y triple vidrio 4+4 / BE4 / BE4 con 10% de gas argón en cámaras. La carpintería se encontrará en la capa del aislamiento constituyendo una envolvente estanca en la sección transversal del edificio. Todas dispondrán de persianas.

Cabe señalar que la elección de carpinterías de PVC se debe a criterios de eficiencia energética ya que ha resultado necesario disponer este tipo de carpintería debido a su baja transmitancia ( $U_m$ ) con el objetivo de obtener un edificio de energía casi nula

Los paños vidriados del vestíbulo de acceso que realiza la función de corta vientos están compuestos por carpintería de aluminio lacado ( $U_w < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y doble vidrio laminar 3+3 / 15 / 3+3.

La carpintería exterior del patio, es decir tanto las puertas peatonales de las servidumbres como la puerta corredera de acceso rodado al patio de la escuela infantil son metálicas compuestas por bastidor y tubos de acero galvanizado.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### *Calefacción*

La instalación consta de una bomba de calor geotérmica con una potencia útil 24,9 kW con un COP nominal de 4,9.

La instalación de referencia mínimo HE4 consta de una caldera de condensación, con un rendimiento del 95% y una contribución de ACS total anual del 30%.

La instalación propuesta es una bomba de calor geotérmica, al estar la geotermia calificada como energía renovable, justificaremos ésta contribución de energía solar renovable con el sistema de geotermia.

### *Ventilación y refrigeración*

El sistema consta de 3 equipos independientes de ventilación con recuperación de calor (VRC), con un rendimiento aproximadamente del 90% para disminuir en la mayor medida posible la demanda energética de calefacción y refrigeración en el apartado de ventilación. Estos equipos dispondrán de Bypass para enfriamiento gratuito cuando sea necesario.

El sistema de refrigeración del edificio, se realizará mediante frío pasivo a través del sistema de geotermia. El emisor encargado de refrigerar será el suelo radiante instalado en el edificio. Se basa en recircular el fluido de los pozos de captación e intercambiar éste fluido directamente con el del suelo radiante. De tal manera que se realiza un "Bypass" a la bomba de calor, es decir, se genera el frío necesario para refrigerar el edificio sin necesidad de evaporar y condensar un refrigerante, lo que supondría un consumo eléctrico debido al compresor que es necesario para realizar dicho ciclo.

### *Iluminación*

Las líneas de distribución de alumbrado (normal y de emergencia) de la planta partirán desde el Cuadro Secundario. Estas líneas discurrirán bajo bandeja metálica de rejilla no propagadora de la llama (clasificación al fuego MO) hasta

las cajas de derivación, desde donde se llegará a cada punto de luz bajo tubo flexible de PVC Ø20 por falso techo o empotrado a las paredes. Las conexiones se harán siempre en las cajas de registro y derivación.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

Se recurre a la obtención de energía mediante geotermia mediante la realización de tres perforaciones a 110 m.

## La madera

La madera presenta claras ventajas con respecto a su ciclo de vida en comparación con otros materiales constructivos:

- La producción de madera, además de ser útil para la sociedad, actúa como almacén de carbono purificando el aire y contribuyendo a la reducción del efecto invernadero.
- Los procesos de producción y transformación de la madera consumen menos energía que los procesos productivos de otros materiales.
- Mucha de la energía que consume proviene de sus propios residuos por lo que la industrialización de la madera incide positivamente en la reducción de la demanda de combustibles sólidos.
- Se pueden aprovechar incluso las cenizas devolviéndolas al campo como fertilizantes.
- En nuestro caso la madera es local por lo que además de incentivar la explosión forestal sostenible su consumo de energía gris es mucho menor.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

**1.837.534,41 euros**, repartidos en edificio y patio: 908.393,53 euros, instalaciones: 266.131,36 euros, urbanización interior: 63.977,09 euros, gestión residuos: 14.000,00 euros, seguridad y salud: 23.652,21 euros.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Se comprueba que el edificio proyectado cumple las exigencias del documento básico HE0 y HE1 mediante la verificación de la certificación energética por parte de un técnico especializado.

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

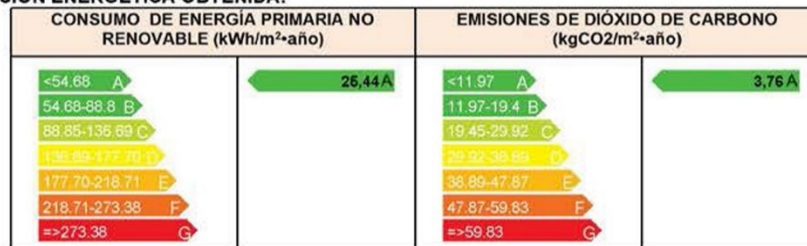


Figura 8. Certificación energética.

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	25,44 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Calefacción:	10,93 kWh/m <sup>2</sup> año
Demanda Refrigeración:	9,96 kWh/m <sup>2</sup> año
Aporte Renovables:	75%
Emisiones CO <sub>2</sub> Edificio:	3,76 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año
Otros:	Emisiones NOX de la caldera, es una bomba de calor no una caldera, por o que no hay emisiones de NOX en la producción de calor insitu: Clase 1

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

LUZYESPACIO certifica su trabajo según la ISO 14006 de Ecosideño, que además de seguir un parámetro técnico responde a una actitud filosófica ante el problema de sostenibilidad de nuestro planeta.



Figura 9. Certificación ecoproyecto.

Además del cumplimiento de la normativa vigente, se ha obtenido el certificado de *ecoproyecto* ICCL. Se puede apreciar el resultado en el gráfico superior donde aparece el cumplimiento de los mínimos exigidos por la entidad (energía, agua, materiales, residuos y vertidos y calidad del ambiente interior).

## IMÁGENES PROYECTO

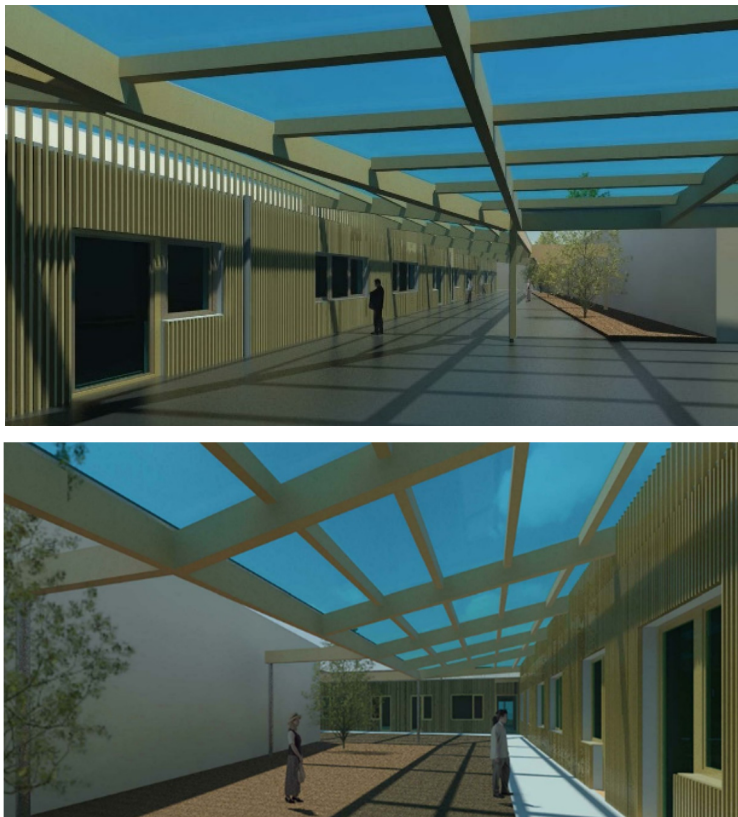


Figura 10. Imagen del patio de recreo infantil.

# VIVIENDAS PASIVAS - COOPERATIVA DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN VALLADOLID, PLAN PARCIAL “EL PERAL”, PROYECTADAS SEGÚN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

**Resumen Proyecto:** Promoción de 10+2 viviendas unifamiliares pareadas Passivhaus en la Parcela 19 del Plan Parcial "El Peral" de Valladolid, en régimen de Cooperativa de Propietarios. Las viviendas se encuentran EN FASE DE CONSTRUCCIÓN. El estándar Passivhaus persigue la consecución de edificaciones cuya demanda energética sea muy reducida, consiguiendo por tanto un importante ahorro energético, unido a una notable mejora de las condiciones de confort del edificio. Las viviendas obtendrán la etiqueta de CASA PASIVA Classic otorgada por el Passivhaus Institut y tendrán una certificación muy superior a la máxima considerada en el CTE, con valores de demanda de calefacción y refrigeración inferiores a 15 kW.h/m<sup>2</sup>.año (valores comprobados mediante la modelización energética de pérdidas y ganancias con el programa de cálculo Passive House Planning Package (PHPP) y certificados por el Passivhaus Institut alemán). En paralelo a estas viviendas se están construyendo 4+4 viviendas con idéntica distribución y orientación y con los mismos sistemas constructivos, pero que sólo cumplirán con las condiciones térmicas marcadas por el Código Técnico de la Edificación, lo que permitirá comparar valores de costes y consumos, tanto en fase de obra como a lo largo de la vida útil de las viviendas.



DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Parcela 19 del Plan Parcial “El Peral” (c/ Arándano) 47008, Valladolid
Uso Característico Edificio:	Residencial unifamiliar
Zona Climática:	D2
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	8.100 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	En construcción
Número de viviendas:	47 viviendas

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: SOCIEDAD COOPERATIVA VALLADOLID SUR (1, 3ª y 4ª FASE)
- Proyectistas: Alberto López Merino. Arquitecto. ESTUDIO LÓPEZ MERINO Y ASOCIADOS SLP
- Dirección Obra: Alberto López Merino. ESTUDIO LÓPEZ MERINO Y ASOCIADOS SLP
- Otros Técnicos Intervinientes: Alberto Merino Narvarte. Arquitecto Técnico
- Otros Agentes:
  - o Instalaciones: GTM Ingenieros S.L
  - o Estructura: Ingeniería Civil PEBA S.L
  - o Acústica y eficiencia energética: ENERYA Ingeniería S.L
  - o Certificación Passivhaus: Energiehaus Arquitectos S.L
  - o Constructora: Geoxa General de Construcciones S.L
  - o Gestor de Cooperativas: Federico López-Areal
  - o Comercialización: AGC Inmo

### Antecedentes

Durante los años de la crisis, el estudio de arquitectura dirigido por Alberto López Merino comenzó a estudiar la idea de formar una Cooperativa de Propietarios para desarrollar un proyecto de viviendas unifamiliares bajo el estándar alemán Passivhaus en una parcela disponible en el Plan Parcial “El Peral” de Valladolid. El estudio se había estado formando durante esos años en construcciones de alta eficiencia energética (ECCN).

Apoyados por un gestor en Cooperativas y la empresa AGC Inmo, así como por la constructora Geoxa de Construcciones también interesada en este tipo de edificaciones, se presentó la idea del proyecto en la Feria de la Construcción del año 2015 y se formaron tres Sociedades Cooperativas con las que se desarrollaría el total del proyecto.

Para asegurar el éxito de la promoción, a cada socio cooperativista se le daba la posibilidad de elegir qué grado de eficiencia energética y de confort quería para su vivienda (Passivhaus, Passivhaus Plus, Edificio de baja demanda energética -certificado PHI- o que sólo cumpliera con el Código Técnico de la Edificación), así como algunas personalizaciones en las viviendas.

### Descripción del Proyecto

En una primera fase se promueve la construcción de 10+2 viviendas unifamiliares pareadas Passivhaus.

Las viviendas se encuentran EN FASE DE CONSTRUCCIÓN, con inminente finalización de las obras antes de final de 2017.

El estándar Passivhaus persigue la consecución de edificaciones cuya demanda energética sea muy reducida, consiguiendo por tanto, un importante ahorro energético, unido a una notable mejora de las condiciones de confort del edificio.

Las viviendas obtendrán la etiqueta de CASA PASIVA Classic otorgada por el Passivhaus Institut y tendrán una certificación muy superior a la máxima considerada en el CTE, con valores de demanda de calefacción y refrigeración inferiores a 15 kW.h/m<sup>2</sup>.año (valores comprobados mediante la modelización energética de pérdidas y ganancias con el programa de cálculo Passive House Planning Package (PHPP) y certificados por el Passivhaus Institut alemán). De las 10 primeras viviendas, 2 optarán a la certificación Passivhaus Plus, al contar con generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en sus cubiertas.

Las viviendas estarán muy aisladas térmicamente, con diversas soluciones de materiales aislantes y a su vez tendrán un alto grado de estanqueidad al paso de aire (comprobado mediante continua aplicación del Test BlowerDoor, durante la ejecución de las obras, obteniendo valores inferiores a 0,30 renovaciones/hora). Las viviendas necesariamente contarán con un sistema de ventilación mecánica controlada, dotada de mecanismos eficientes de recuperación de calor (ventilación mecánica de doble flujo). Las viviendas se diseñan con criterios bioclimáticos para

aprovechar al máximo la radiación y la luz solar, manteniendo en invierno el calor recibido por soleamiento. La pequeña demanda de energía necesaria se generará con fuentes renovables, como la aerotermia y paneles fotovoltaicos en el futuro, de manera que el gasto por el uso habitual de las viviendas se reduzca de manera muy importante.

Del mismo modo tendrán un buen comportamiento en verano, por las mismas razones antes expresadas, de estanqueidad, aislamiento y ventilación atemperada.

En fase de proyecto se han estudiado y eliminado todos los puentes térmicos existentes en las viviendas (encuentros con el terreno, con las carpinterías, cambios de geometría, etc.), consiguiendo que la envolvente térmica de la vivienda sea prácticamente continua.

Igualmente, al interior, se consigue una línea continua de hermeticidad en toda la vivienda, de manera que las infiltraciones de aire a través de la construcción resulten controladas al máximo. Al finalizar la construcción todas las viviendas tendrán que dar resultados en el BlowerDoor Test inferiores a 0,6 renovaciones/hora.

Las carpinterías tienen una doble función: reducir el flujo térmico al máximo y permitir ganancias solares, sobre todo en invierno. Las viviendas llevan una carpintería de aluminio/madero de altas prestaciones, con triple acristalamiento.

En paralelo a estas viviendas se están construyendo 4+4 viviendas con idéntica distribución y orientación y con los mismos sistemas constructivos, pero que sólo cumplirán con las condiciones térmicas marcadas por el Código Técnico de la Edificación (menos aislamiento, menos estanqueidad, etc.), lo que nos permitirá comparar valores de costes y consumos, tanto en fase de obra como a lo largo de la vida útil de las viviendas. Se propone la motorización de alguna de las viviendas.

Dado el éxito de la promoción se están empezando a construir otras 22 viviendas pareadas, algo más pequeñas, de las cuales 14 serán viviendas certificadas passivhaus como "Edificio de baja demanda energética" (PHI), que sin llegar al estándar de Casa Pasiva Classic, garantizan una demanda de calefacción y refrigeración inferior a 30kW.h/m<sup>2</sup>.año, con valores de resultado del ensayo de presión (BlowerDoor Test) inferiores a 1 renovación/hora.

## Prestaciones del Edificio

Las viviendas están pensadas para el AHORRO, reduciendo las demandas de calefacción y refrigeración de las viviendas, y el CONFORT.

- Elevado nivel de aislamiento térmico
- Eliminación de puentes térmicos
- Estanqueidad de la envolvente
- Ventanas y puertas con altas prestaciones
- Ventilación mecánica con recuperador de calor de alta eficiencia
- Modelización energética de pérdidas y ganancias (PHPP)

Objetivos:

- Demanda de energía para calefacción: máx. 15 kW-hora/m<sup>2</sup>.año
- Demanda de energía para refrigeración: máx. 15 kW-hora/m<sup>2</sup>.año
- Hermeticidad al paso del aire: máx. 0,6 renovaciones/hora (Blower Door Test)

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

El estándar Passivhaus no supone el uso de un tipo de producto, material o sistema constructivo sino la optimización de los recursos existentes a través de técnicas pasivas (factor de forma, orientación, protecciones solares, etc.)

Se elige un sistema constructivo tradicional, hormigón, acero y ladrillo, comprobándose que es posible hacer viviendas eficientes energéticamente con muy poco sobrecoste.

## Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La cimentación se realiza con losa armada. La estructura con pilares metálicos y vigas/forjados de hormigón armado.



## Sistemas de Envolventes y Acabados

Las fachadas son de ladrillo perforado con un sistema de aislamiento por el exterior "SATE" de la marca Sto con componentes de base orgánica (no mineral), con espesores de 16/20 cm., y un trasdosado interior de PYL con 6 cm. de aislamiento.

Las cubiertas son planas, con 25 cm. de aislamiento por el exterior, y 6 cm. en el falso techo interior.

Las carpinterías son de aluminio/madera Uni-One de la serie Complanare, con triple acristalamiento.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### Calefacción-Refrigeración

Sistema de suelo radiante-refrescante alimentado con bomba de calor aerotérmica de Vaillant VWL 55-2 A 230V (con un consumo de energía eléctrica de 1.380 kWh/año que en este momento suponen un coste aproximado de 250€/año).

### Ventilación

Sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor Comfoair Q-350 de Zhender (consumo: 0,28 w.h/m<sup>3</sup> lo que se traduce en unos 80€/año).

### Iluminación

Iluminación led en toda la vivienda.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

El sistema de calefacción/refrigeración, así como la generación de ACS se realiza con aerotermia.

En un futuro podrán colocarse paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica).

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Presupuesto de ejecución material 1 pareado passivhaus: 340.000 € (905 €/m<sup>2</sup>)\*

Presupuesto de ejecución material 1 pareado CTE: 316.000 € (837 €/m<sup>2</sup>)\*

(\*) equiparando los sistemas de climatización con suelo radiante/refrescante y aerotermia

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

Se indican los valores de cálculo obtenidos del programa HULC para las viviendas Passivhaus Classic

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	18,1 kW·h/m <sup>2</sup>
Demanda Calefacción:	17,3 kW/m <sup>2</sup>
Demanda Refrigeración:	3,2 kW/m <sup>2</sup>
Aporte Renovables:	100 % (aerotermia)
Emisiones CO2 Edificio:	4,5 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

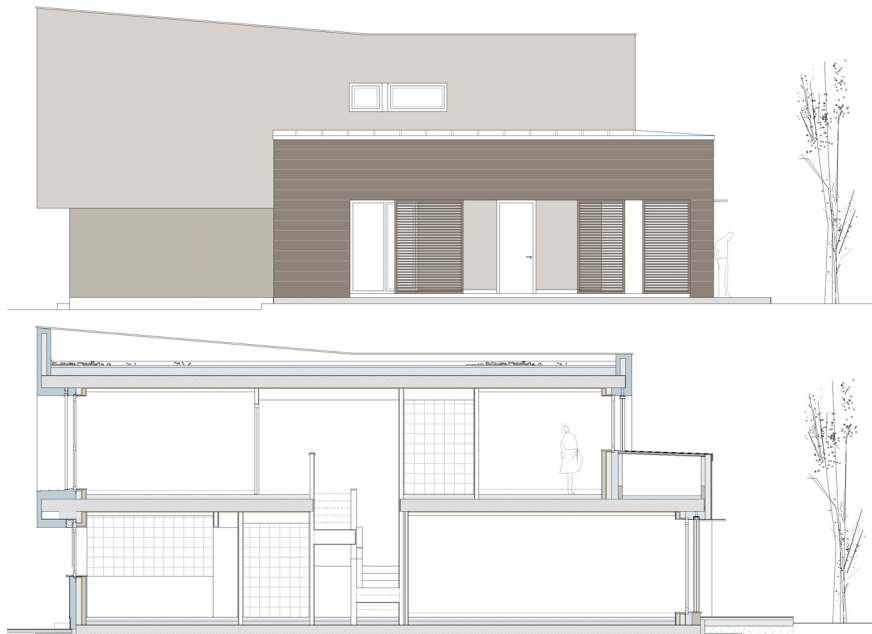
10 viviendas serán certificadas Passivhaus Classic por Energiehaus con los siguientes resultados:

- Demanda de energía para calefacción: 13,22 kW·hora/m<sup>2</sup>·año
- Demanda de energía para refrigeración: 10,40 kW·hora/m<sup>2</sup>·año
- Hermeticidad al paso del aire: 0,4 renovaciones/hora (Blower Door Test)

## IMÁGENES PROYECTO



*Imagen 2. Plantas baja y alta. Vivienda Passivhaus.*



*Imagen 3. Alzado y sección lateral. Vivienda Passivhaus.*



*Imagen 4. Ejecución de estructura.*



*Imagen 5. Ejecución de cerramientos e instalación de carpinterías.*



*Imagen 6. Detalle de instalación de carpinterías y SATE.*



*Imagen 7. Vista general de vivienda previo a acabados exteriores.*



*Imagen 8. Vista general de vivienda con acabados I.*



*Imagen 9. Vista general de vivienda con acabados II.*

## EDIFICIO DEPARTAMENTAL DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

**Resumen Proyecto:** El EDE se plantea como una infraestructura flexible y adaptable, tanto a las diferentes condiciones climáticas exteriores a lo largo del año, como a posibles cambios de uso en el futuro, desarrollando para ello varias estrategias simultáneas y complementarias. En el proceso del proyecto ha estado siempre presente el comportamiento termodinámico del edificio, y su relación en cada momento con las condiciones climáticas exteriores y las condiciones ambientales de los espacios interiores. Estas consideraciones se materializan en dos elementos fundamentales del proyecto, que actúan como mediación térmica entre el interior y el exterior: el atrio cubierto en el interior (invernadero en invierno y umbráculo en verano) y la cámara que actúa como fachada ventilada activa (FVA) en el exterior, alrededor de todo el edificio. La flexibilidad está presente en el planteamiento estructural con profundas crujiás con pilares en las fachadas longitudinales y placas alveolares salvando la luz entre ellas, evitando la presencia de pilares interiores.



Figura 1. Vista exterior del acceso.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Campus San Francisco. Universidad de Zaragoza
Uso Característico Edificio:	Docente
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	8.691,02 m2
Fase del Proyecto:	Proyecto de Ejecución (octubre2017)
Otros:	Previsión de obras: 2018-2020

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Universidad de Zaragoza
- Proyectistas: Magén Arquitectos SLP (Jaime Magén, Francisco Javier Magén)
- Dirección Obra: Magén Arquitectos SLP (Jaime Magén, Francisco Javier Magén)
- Otros Técnicos Intervinientes: Ingeniería Torné (instalaciones); Guillermo Montaner (BIM); Gabriel Fraj, David Mateo (arquitectos técnicos); Pérez Benedicto Ingeniería (estructura)
- Otros Agentes: Riventi, Reynaers; Itesal, Viabizzuno, Malpesa

### Antecedentes

La Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Zaragoza se encuentra en el campus de San Francisco. La Facultad desarrolla su actividad sobre un conjunto de edificios y pabellones, producto de sucesivas ampliaciones, tanto en planta como en altura realizadas a partir del edificio original de Regino Borobio y José Beltrán, inaugurado en 1941, siguiendo un modelo de planta en peine, a partir del edificio original y tres pabellones conectados, de Historia, Aula Magna y Geografía.

Posteriormente, se acomete una ampliación de las instalaciones docentes construyendo el denominado Pabellón de Filología, según diseño del arquitecto Sirio Sierra Chaves en 1977, alojando una biblioteca, despachos y seminarios.

El proyecto contempla la demolición del Pabellón de Filología, la construcción de un nuevo edificio departamental (edificio EDE) en su lugar, la reforma integral del edificio central de la Facultad (edificio Borobio) y la urbanización de la parcela que ocupan ambos edificios.

### Descripción del Proyecto

Los volúmenes del nuevo edificio departamental se plantean en continuidad con los del edificio existente: un volumen principal longitudinal, y tres cuerpos transversales, con un volumen escalonado sobre la fachada principal, de similar altura a los volúmenes de acceso y escaleras del edificio original.

Aun tratándose el nuevo edificio departamental de un edificio de energía casi nula (EECN) que incorpora criterios de máxima eficiencia energética y sostenibilidad, y entre ellos, una fachada de doble piel, se utiliza el ladrillo cerámico como estructura adintelada básica de las fachadas, para la posterior colocación de vidrio en la plementería entre pilastras. Asimismo, el encuentro del edificio con el suelo se configura mediante un zócalo de piedra de Calatorao abujardada, en continuidad con el zócalo del edificio original.



*Figura 2. Vista exterior desde el Edificio Departamental.*

Los criterios generales de la organización del edificio estructuran el programa de necesidades en el área de intervención propuesta, actualmente ocupada por el Pabellón de Filología. La geometría y las dimensiones de las plantas vienen dictadas en gran medida por las alineaciones y distancias mínimas, tanto hacia el edificio original como a los límites y espacios del campus.

Asimismo, las diferentes alturas de los volúmenes del edificio original de la Facultad (EFL) –crujía longitudinal de cuatro plantas sobre rasante, porche de acceso y núcleos de escaleras de dos plantas en la fachada principal y pabellones de tres plantas sobre rasante en la fachada posterior- configuran una sección transversal escalonada, en la que las dos plantas superiores del EFL tienen una menor superficie y ocupación que las inferiores.

Por otro lado, el programa de usos propuesto plantea una diferenciación entre los usos departamentales (despachos, salas de trabajo, salas de becarios, seminarios) y otros espacios con un carácter más público y abierto -biblioteca, periodismo, salas de exposición- o de servicios comunes (instalaciones), que se situarán en los niveles inferiores.

En respuesta a estos condicionantes, se propone una disposición claustral en torno a un atrio central (invernadero en invierno y umbráculo en verano) en las plantas inferiores, que se transforma en un esquema en peine de tres bandas perpendiculares a una crujía longitudinal en las plantas superiores, en prolongación del volumen principal del EFL. Las circulaciones se organizan desde esta banda longitudinal principal, mediante tres núcleos verticales de comunicación y servicios, que recorren las cinco plantas de altura.

La flexibilidad en la disposición y compartimentación de los espacios, la articulación entre los mismos y la integrada independencia y singularización -dentro del conjunto-, tanto de la Sala de Lectura como de los espacios destinados a Periodismo, han sido otros puntos de partida en la organización del edificio.



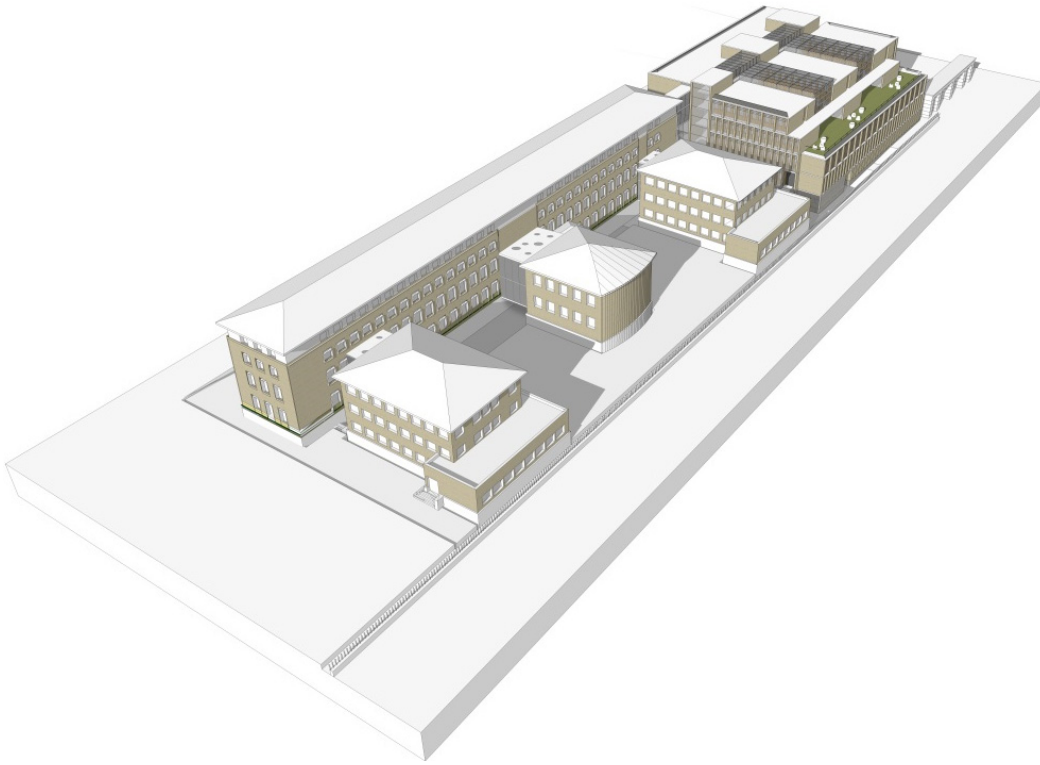


Figura 3. Vista exterior desde la antigua Facultad.



Figura 4. Alzado principal.

## Prestaciones del Edificio

El edificio proyectado dispone de una envolvente adecuada a la limitación de la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de Zaragoza, del uso previsto y del régimen de verano y de invierno,

Las características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, permiten la reducción del riesgo de aparición de humedades de condensación superficial e intersticial que puedan perjudicar las características de la envolvente.

Todos los elementos constructivos horizontales y verticales cuentan con el aislamiento acústico requerido para los usos previstos en las dependencias que delimitan.

Se ha primado que todos los espacios de docencia y trabajo estén convenientemente dimensionados e iluminados naturalmente, para mayor comfort de alumnos y trabajadores.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

A partir del estudio geotécnico, el nuevo edificio departamental (EDE) se planteará con un sistema de cimentación de zapatas corridas y aisladas, unidas mediante vigas centradoras en los casos necesarios, y de zapatas corridas lineales bajo los muros perimetrales de contención, en hormigón armado y calculadas para unas cargas admisibles del terreno de 3,0 kg/cm<sup>2</sup> mediante vigas de atado en el perímetro del edificio.

Se propone un sistema estructural a base de pilares de perfiles laminados metálicos y forjados horizontales de losa aligerada reticular de hormigón. Determinadas luces estructurales, como la que salva el cuerpo central sobre el atrio se resuelven con cerchas metálicas en las fachadas, en los paños horizontales ciegos entre ventanas, y losas alveolares apoyadas en ellas.

### Sistemas de Envolventes y Acabados

#### FACHADAS

##### **ENVOLVENTE DOBLE PIEL CON CÁMARA**

Las fachadas exteriores del EDE están resueltas casi en su totalidad mediante una doble piel que actúa como colchón térmico entre el exterior. La capa exterior de la envolvente está compuesta de pilastras de ladrillo cerámico prensado con cazoleta 250 x 120 x 40 mm., sobre pilar metálico, con armaduras metálicas de refuerzo y atado murfor cada cinco hiladas. En cada planta, sobre las pilastras se coloca una pieza horizontal de remate, de prefabricado de hormigón blanco coloreado en masa.

La capa interior de la doble piel, la fachada del edificio hacia la cámara estará compuesta por una hoja exterior formada por paneles de aglomerado de corcho expandido especial tipo Aglocork fachadas de 100x50x8 cm., fijado mecánicamente a chapa plegada de acero galvanizado sobre bastidores de tubo galvanizado de 60 mm, fijados mecánicamente sobre enfoscado de mortero hidrófugo, hoja de fábrica de termoarcilla de 14 cm. de espesor y trasdosado interior autoportante de doble placa de yeso laminado con aislamiento en la cámara, entre perfiles verticales.

##### **FACHADA VENTILADA DE LADRILLO CARAVISTA**

En determinadas zonas opacas de la fachada exterior, habitualmente coincidiendo con testeros ciegos de los volúmenes, la fachada autoportante y ventilada de ladrillo caravista estará compuesta por una hoja exterior de ladrillo prensado, el mismo que el utilizado en las pilastras, colocada mediante el sistema constructivo G.H.A.S. (Geo-Hidrol Advanced System) de Structura, con anclajes para el atado de la fábrica a la estructura. Por el interior de la fábrica de ladrillo caravista discurrirá la cámara de aire de 3 cm. Se colocará un aislamiento de lana mineral sistema ECOSEC sobre fábrica de termoarcilla de 14 cm. y trasdosado de doble placa de yeso laminado con aislamiento en la cámara, entre perfiles verticales.

##### **FACHADA LIGERA MURO CORTINA**

Las fachadas del atrio de EDE, en las dos últimas plantas, hacia hacia la calle Pedro Cerbuna, como las de los cuerpos de conexión entre edificios y entre pabellones del EFL consisten en un muro cortina tipo GEODE Aspecto liso, con tapa plana de Technal, o similar.

#### CUBIERTAS

##### **CUBIERTA PLANA INVERTIDA**

Las cubiertas planas serán del tipo invertida, con acabado de grava en casi todos los casos, sobre forjado realizando pendientes con mortero aligerado de espesor medio 8 cm. , capa de mortero de protección de 2 cm. de espesor, barrera de vapor realizada con imprimación de emulsión asfáltica de 2 kg/m<sup>2</sup>, colocación de doble membranas polimérica de 3 kg/m<sup>2</sup> cada una, solapadas según normas, velo de geotextil no tejido, doble placa rígida de poliestireno

extruido tipo Roofmate, con densidad 35 kg/m<sup>3</sup> de 50 mm de espesor cada una para conseguir 10 cm. de aislamiento, colocadas a cruzajunta y terminación con aporte de grava lavada de árido rodado de tamaño máximo 45 mm sobre el aislamiento, incluso realización de maestras para la formación de pendientes, medias cañas en resolución de encuentros con paramentos y parte proporcional de tela asfáltica en encuentro con paramentos verticales y perfiles galvanizados de fijación de petos, sumideros por medio de embocadura compatible con bajante de PVC. El acabado de la cubierta de la terraza del nivel 3 hacia la calle Pedro Cerbuna, será de clesped artificial tipo, sobre lámina geotextil sobre chapa de mortero de 3 cm., sobre lámina geotextil encima del aislamiento Roofmate. La cubierta sobre la marquesina de entrada al edificio EDE será de tipo vegetal Floradrain FD 25-E o similar, sobre sustrato vegetal tipo Zincoterra de 8 cm. de espesor, con plantas tapizantes tipo Sedum, filtro sistema SF, lámina Floradrain FD 35-E, manta protectora y retenedora SSM 45 y lámina antirraíces WSB 100-PO, con un espesor total de 11 cm. sobre el forjado.

#### **CUBIERTA ACRISTALADA SOBRE EL ATRIO**

En continuidad con los muros cortina en fachadas verticales, los techos acristalados del atrio se resuelven mediante el sistema de perfiles de aluminio GEODE Techo Parrilla tradicional, Technal o similar.

## **CARPINTERÍA EXTERIOR**

#### **HOJA EXTERIOR FACHADA DOBLE PIEL**

Ventanas fijas y ventanas oscilobatientes motorizadas de aluminio, con marco oculto en el caso de las fijas y hoja oculta en las oscilobatientes, tipo Slim-38 de Reynaers o similar. Los marcos de aluminio se colocarán atornillados a precercos de acero galvanizado encarcelados a las hojas de fábrica de las fachadas.

#### **HOJA INTERIOR FACHADA EXTERIOR Y FACHADAS INTERIORES AL ATRIO**

Ventanas fijas y ventanas practicables-oscilobatientes de perfiles de aluminio con rotura de puente térmico y hoja oculta, tipo Soleal 65 de Technal o similar. La colocación será enrasada a haces exteriores. Los marcos de aluminio se colocarán atornillados a precercos de acero galvanizado que se encarcelarán a la obra o a los soportes de hormigón.

## **Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones**

### **Calefacción**

La instalación de climatización que se diseñará, será centralizada y conceptualmente se dividiría en diferentes partes, que a continuación describimos:

- **Producción de Energía:** Mediante sistemas de alta eficiencia energética, planteando ESSERS y COPs altos. Se plantearán sistemas condensados por agua, con captación de agua del subsuelo. El objeto será el de conseguir el mejor sistema de producción posible para las necesidades del edificio.
- **Distribución de energía:** Se proyectará el sistema de distribución de energía en la sala de bombas de planta sótano del edificio EDE, diferenciando colectores de calor y de frío, aunque existirán circuitos comunes que compartirían bombas al ser a dos tubos.
- **Tratamiento de energía:** Se proyectarán 4 sistemas distintos que son los siguientes:
- **Suelo radiante:** Para zonas especiales del edificio EDE como la sala de lectura. No estará previsto su funcionamiento como suelo refrescante, por evitar condensaciones en zonas de alta ocupación.
- **Sistema de Fancoils EC o inductores:** a 4 tubos para estancias de uso administrativo, despachos del EDE.
- **Climatizadores de tratamiento,** para las estancias más singulares del edificio. Los climatizadores se situarán en la planta sótano o cubierta del edificio EDE, en un espacio previsto para instalaciones, en zonas donde hay posibilidad de toma de aire exterior a través de pozos canadienses y descarga a cubierta. Estos climatizadores aportarán el aire de ventilación y tendrán la posibilidad de realizar un enfriamiento gratuito de las estancias.

### **Refrigeración**

Incluido en el anterior punto.

### **Ventilación**

Para todas las zonas del edificio se cubren las necesidades de ventilación necesarias que establece la reglamentación vigente, empleando sistemas de ventilación a través de los climatizadores de aire primario, para las estancias del edificio EDE.

**Iluminación**

Dada la evolución actual de la tecnología LED y sobre todo la tendencia del mercado a que la fluorescencia vaya a desaparecer se planteará proyectar toda la iluminación del edificio mediante lámparas LED de última tecnología.

Para las zonas de estancias singulares del edificio se propondrá un sistema de iluminación con regulación Dalí, que permita tener varios escenarios de iluminación en función del uso que se le quiera dar en cada momento. Para los aseos, vestuarios, pasillos, zonas de acceso a despachos etc, se dispondrá un sistema de control de encendido/apagado mediante sistemas de detección de presencia.

Pensando en la eficiencia energética y aprovechando los grandes ventanales del edificio, se propondrá un sistema de aprovechamiento de luz natural. El sistema permitirá un ajuste progresivo en función de la radiación solar, actuando sobre las luminarias que serán regulables. Se propondrá la inclusión de un sistema de control de iluminación remoto y centralizado mediante el estándar KNX.

**Automatización y Control**

Se preverá un sistema de regulación con gestión centralizada para el control de todos los equipos de climatización que intervienen en el edificio. Como planteamiento de gestión, se instalarán equipos de medida y analizadores de redes en las líneas de suministro a subcuadros de cafetería que podrían funcionar y gestionarse de manera autónoma para contabilizar consumos de manera independiente en función de lo que quiera hacer la propiedad.

**Energías Renovables in situ o en el entorno****Tipos Energías Renovables: Intercambiadores tierra-aire (pozos canadienses)**

Se ha previsto que los climatizadores del sistema de ventilación y tratamiento cojan el aire exterior tras un intercambio Tierra-Aire, Esto permitirá que los días más fríos y calurosos del año, consigamos que el aire de ventilación entre pretratado a los climatizadores lo que hará que tengamos que producir menor energía. La captación se realizará a través de unos bancos de ventilación integrados en el diseño de la urbanización.

**Tipos Energías Renovables: Energía fotovoltaica**

Se incorporan placas fotovoltaicas con una capacidad de 75000 wp, que, considerando unas 1800 horas equivalentes anuales, generarán una producción anual de 135000 KWh/año.

**PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

Se estima un Presupuesto de Ejecución Material de 6.922.450,70 €.

**CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA**

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	9,46 KW/M2año
Demanda Calefacción:	1,17 KW/M2año
Demanda Refrigeración:	0,71 KW/M2año
Aporte Renovables:	18,05 KW/M2año

**CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES**

El Proyecto se diseña de modo que el edificio EDE tenga calificación energética A. Asimismo, se implementará la certificación BREEAM excelente.

## WELLNESS HUB, EDIFICIO ENERGÍA CASI NULA, CON CELOSÍA BIOCLIMÁTICA, PREFABRICADA DE HORMIGÓN POROSO, EN MÉXICO

**Resumen Proyecto:** El proyecto surge de la iniciativa de un conjunto de empresas del sector privado mexicano que apuestan por el desarrollo sostenible formando un consorcio empresarial con el objetivo de desarrollar el primer edificio certificado Net Zero Energy Building (NZEB) en México y América Latina sin sobrecostos para el promotor, puesto que éstos los absorben las empresas de diferente manera. El proyecto consiste en un edificio comercial denominado “Wellness Hub” enfocado al bienestar ubicado en la ciudad de San Pedro Garza García. El edificio tiene la máxima ambición ambiental y en particular energética al proponer una edificación capaz de producir la misma energía que consume a lo largo del año (balance cero). Proponemos una arquitectura que alcance por sí misma un rendimiento óptimo, para que el uso final sea poco demandante de energía y equipamiento mecánico añadido.



Figura 1. Wellness Hub con su entorno-visualización 3D (fase proyecto básico).

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	San Pedro Garza García, Nuevo León, México
Uso Característico Edificio:	Comercial
Zona Climática:	Subtropical Húmedo Cfa según clasificación climática Köppen
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	18.000m2 aprox.
Fase del Proyecto:	Proyecto Ejecutivo

## MEMORIA DESCRIPTIVA

El proyecto consiste en un edificio comercial enfocado al bienestar físico, mental y espiritual, de forma que combina usos muy diversos. El programa se desarrolla en planta baja y cuatro niveles por encima. Además, cuenta con tres niveles de aparcamiento subterráneo.

En la planta baja se concentra el programa más ligado a la actividad comercial y de restauración. En la primera planta se concentran los usos ligados a la belleza. En el segundo nivel encontramos el gimnasio y el spa, igual que en la tercera planta que alberga el segundo nivel del spa y el gimnasio, así como una escuela de música. Finalmente, la planta cuarta, en su mayoría libre, acoge los usos más ligados a la posibilidad de uso de un espacio abierto como la cubierta verde planteada: los espacios de yoga, pilates un salón de té y un espacio de usos múltiples.



Figura 2. Logo de Wellness Hub.

## Agentes del Proyecto

El proyecto es impulsado por un consorcio empresarial denominado Consorcio Edificios Cero Energía (ECE) conjuntamente con el promotor Capital Natural. El consorcio ECE está formado por las siguientes empresas:

Especialidad	Empresa
Aislamiento térmico	Owens Corning
Carpintería y vidrio	CUPRUM, Vitro
Sistemas de automatización y Control	Johnson Controls, General Electric
Iluminación LED	General Electric
Generación de energía fotovoltaica	Galt
Consultoría especializada	BEA, McKinsey, Centro Mario Molina
Climatización	Carrier
Documentación, replicabilidad y difusión	World Resources Institute
Ingenierías	PGI Engineering
Arquitectura	Picharchitects Pich-Aguilera
Soluciones constructivas y envolvente	CEMEX
Financiación	Banamex
Software	CYPE
Acero	Ternium
Ascensores	Schindler

- Promotor: Capital Natural
- Proyectistas: Picharchitects Pich-Aguilera, PGI Engineering
- Dirección Obra: Picharchitects Pich-Aguilera
- Otros Técnicos Intervinientes: PARE (consultor parking),
- Otros Agentes: Turner (gerencia de costes), Cushman & Wakefield (Project management)

## Antecedentes

### CONSORCIO NZEB

La Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) promueve en el sector privado los principios del desarrollo sustentable. Entre sus esfuerzos surgió la iniciativa de impulsar el desarrollo del primer edificio certificado Net Zero Energy Building en México y Latinoamérica con la intención de desarrollar un modelo demostrativo y replicable.

Para vencer la principal inercia en este tipo de proyectos: el sobrecosto, se formalizó un consorcio empresarial con empresas de referencia en el sector de la construcción que tuvieran experiencia en proyectos sostenibles para aportar su conocimiento adquirido y absorber el sobrecosto teórico del proyecto mediante patrocinios de diferentes formas.

Una vez formalizado el consorcio NZEB:MX se procedió a establecer contacto con desarrolladores claves en México para identificar proyectos potenciales que reunieran las capacidades técnicas, económicas y de operación adecuadas para optar a ser el primer edificio certificado NZEB. De entre los diferentes candidatos resultó que el Wellness Hub propuesto por Capital Natural reunía las cualidades más adecuadas para la iniciativa. Capital Natural es una plataforma

de capital privado que tiene por objeto el desarrollo inmobiliario. Actualmente administra cinco fondos de inversión con un valor de 500 millones de dólares, entre ellos los desarrollos SOFIA y Arboleda en San Pedro Garza García, México.

### **ARBOLEDA**

Arboleda es un desarrollo de 500.000m<sup>2</sup> de construcción en donde se encuentran 17 edificios de uso mixto (residencial, comercial, hotel y oficinas). El master plan fue diseñado por el arquitecto César Pelli bajo especificaciones de la certificación LEED y el IBC. El diseño de Arboleda incluye una variedad de estrategias de sostenibilidad municipal enfocadas a brindar espacios verdes recreativos.

### **WELLNESS HUB**

El Wellness Hub forma parte de una ambición mayor, que es crear un nuevo centro urbano sostenible, siendo el objetivo del proyecto en Arboleda. La vocación del Wellness Hub es promover un concepto de salud integral para armonizar el cuerpo, la mente y el espíritu; un equilibrio que se traduce en un sentimiento de bienestar total. Al mismo tiempo el centro busca integrar a la comunidad en un espacio que permita fortalecer las relaciones interpersonales, frecuentar grupos de afición, aprender temas nuevos y arraigar el sentido de pertenencia.



Figura 3. Patio central de Wellness Hub, visualización 3D.

## **Descripción del Proyecto**

### **IMPLANTACIÓN**

El cuerpo edificado del proyecto actúa como un remate de las visuales a lo largo de la calle principal de acceso al conjunto urbano y constituye un ícono que trata de identificar el lugar. El conjunto se desdobra en dos cuerpos separados, en cuya comisura se crean espacio de vida y visiones cruzadas.

### **FUNCIONALIDAD**

El cuerpo suspendido crea un gran atrio abierto sobre la planta de acceso, donde se dispone una gran lámina de agua que propiciará la experiencia de los sentidos y conducirá al público. El edificio puede ser recorrido alternativamente como un paseo peatonal tranquilo o mediante elevadores, pero siendo éstos de vidrio y discurriendo a lo largo del patio vertical en todo momento. Disponemos en planta baja los usos de mayor afluencia pública, extendiéndose además por algunas zonas libres del atrio exterior.

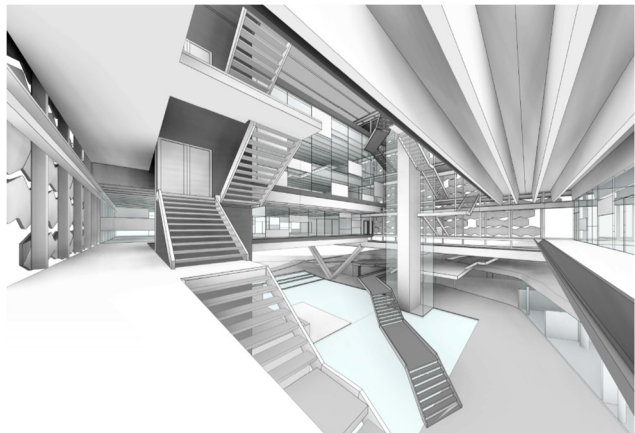


Figura 4. Patio central con el núcleo de comunicaciones.

## **Prestaciones del Edificio**

El proyecto tiene la máxima ambición ambiental y particular energética, al proponer que el edificio sea capaz de producir la misma energía que consume a lo largo del año (edificio de balance nulo) y acreditar algunas certificaciones de muy alta cualificación. Proponemos una arquitectura que alcance por sí misma un rendimiento natural óptimo, para que el uso final sea poco demandante de energía y de equipamiento mecánico añadido. Para ello

el diseño trata de implicar intensivamente el comportamiento bioclimático de los sistemas, potenciando los flujos termodinámicos, así como otros recursos naturales en la obtención del confort interior.

La configuración del patio central combinada con la topografía abierta de la planta baja, propician un tiraje permanente de aire ascendente, que se refresca al contacto con la superficie horizontal de agua del atrio, a su vez la sombra y la evapotranspiración de la vegetación en altura ayudarán a atemperar este recinto.

Los paños de celosía a lo largo de las fachadas longitudinales a base de piezas de concreto poroso permiten modular la radiación solar y disipar el calor, además de refrescar y canalizar hacia el interior del atrio las brisas rasantes. La estructura de los pisos de concreto implica sus propiedades inerciales hacia los espacios de uso, atemperando las puntas para paliar el esfuerzo de los sistemas mecánicos.

Es evidente que para alcanzar los niveles y cadencias requeridas en el confort interior de las distintas estancias deberemos instalar sistemas de climatización mecánica, pero entendemos estos equipos como una dotación complementaria y no totalitaria. El edificio bien puede funcionar durante largos periodos del año sin más aportación que la precisa combinación de su propio bioclimatismo, y para ello habrá que dotarlo de mecanismos tecnológicamente avanzados que permitan monitorizarlo y gestionarlo automáticamente. La demanda energética que requiera finalmente a lo largo del año se verá compensada por una producción equivalente de energía renovable, producida por la gran pérgola superior, compuesta por paneles fotovoltaicos que además de sombrear actuarán como una planta de generación eléctrica.

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Se propone una solución de cimentación mediante un cajón de cimentación. Independiente de la solución de la cimentación, En los niveles de aparcamiento subterráneos, se considera en el proyecto estructural un muro de hormigón reforzado que resista la presión debida al empuje horizontal de tierras y proporcione rigidez adicional a la estructura perimetral en dichos niveles.

La superestructura del edificio se resuelve con marcos formados a base de elementos de acero estructural A-50 y vigas prefabricadas de hormigón pretensado tipo "TT o pi". La solución estructural de los niveles de sótano y la cimentación se considera en concreto reforzado. En la dirección transversal se forma un sistema de un solo marco sismo-resistente con distancia entre pilares de 20 m. En la dirección longitudinal existen marcos con columnas uniformemente espaciadas a cada 2.5 m. Las cargas muertas y vivas que reciben los forjados se transmiten por áreas tributarias a las vigas principales que a su vez transmiten la carga a los pilares de los niveles superiores.

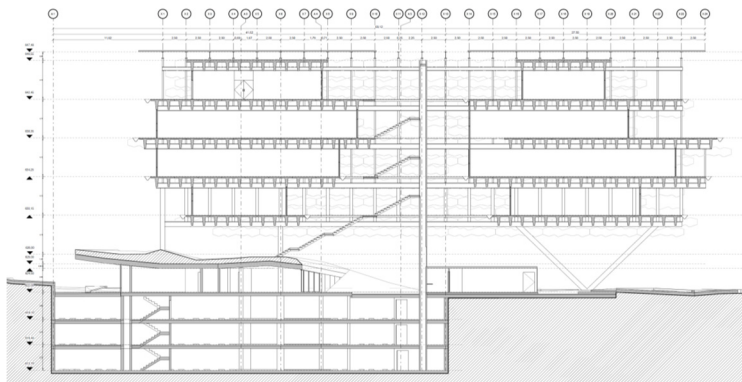


Figura 5. Sección constructiva longitudinal.

Los pilares que vienen de los niveles superiores pierden continuidad en la planta 1 apoyándose en una viga de acero de transferencia, la cual está soportada por pilares circulares de acero. Estos últimos pilares que se encuentran en el nivel de planta baja y están orientados verticalmente con excepción de un eje de apoyo, donde dos pilares forman una figura triangular en "V".

El sistema de forjado es mixto resuelto con vigas TT en las luces mayores y chapa colaborante en las luces más pequeñas. Se propone la presencia de elementos diagonales de arriostamiento en forma de "X" en el nivel 1 del edificio.



## Sistemas de Envoltentes y Acabados

El proyecto se plantea como una infraestructura. Es por ello que prácticamente carece de acabados, pues son los propios elementos constructivos aparentes los que conforman en gran parte su aspecto exterior. Entre ellos destaca la estructura metálica aparente en las fachadas, de la misma forma que las vigas TT o la celosía de hormigón.

El papel de la envolvente en el proyecto es fundamental para cumplir con la meta cero energía. La envolvente del proyecto se centra en tres estrategias pasivas:

- **Protección solar.** En una latitud como en México la radiación solar es la principal fuente de sobrecalentamiento de los edificios. Por ello se propone una celosía de hormigón poroso que por una parte evita la incidencia solar y por otra parte está diseñada para estar siempre húmeda, aprovechando el agua de lluvia y de condensación de los aires acondicionados, de forma que al pasar el aire caliente y seco por esa superficie se refresca de forma natural (refrigeración evaporativa). Los voladizos de las fachadas este y oeste, con el apoyo de cortinas exteriores, ayudan a evitar la incidencia solar directa. Además la gran pérgola fotovoltaica ubicada en la cubierta protege al edificio de la radiación solar directa en toda su huella.
- **Aislamiento térmico.** Como todo edificio comercial tiene una gran superficie acristalada. Es por ello que es de vital importancia que sea lo más eficiente posible. todas las fachadas acristaladas cuentan con carpintería de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios triples con doble capa de baja emisividad y cámaras de aire con argón. En cuanto a las fachadas ciegas y la cubierta el edificio cuenta con altos espesores de aislamiento térmico.
- **Inercia térmica.** Monterrey se caracteriza por su clima muy extremo, con grandes saltos térmicos entre el día y la noche y cambios muy rápidos en la climatología. Es por ello que el proyecto concentra la inercia térmica en sus forjados como una serie de bandejas masivas que tengan la capacidad de almacenar energía y compensar las puntas térmicas, tanto de frío como de calor.



Figura 6. Muestra del panel de fachada preparada para el ensayo del rendimiento climático.

Para cumplir con los requisitos ambientales y de la eficiencia energética, se ha realizado un estudio profundo del comportamiento climático de la celosía de hormigón poroso. En colaboración con los laboratorios de la empresa productora de hormigón Cemex, se ha desarrollado una composición especial del panel prefabricado, compuesto de 2 variaciones de hormigón-uno que forma la parte resistente que absorbe las cargas verticales y horizontales, y acomoda el anclaje, mientras que otra parte del panel se ejecuta con hormigón poroso, cual proporciona la mayor parte del comportamiento climático de la celosía. Para asegurar el comportamiento correcto de la pieza en su posición final, se está haciendo simulación del comportamiento térmico de la pieza, y se plantea un ensayo para comprobar los resultados de la simulación en condiciones reales.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

El principal condicionante del proyecto es que la certificación NZEB exige que toda la energía consumida por el edificio sea generada de forma renovable y en sitio, descartando cualquier fuente por medio de combustión. Eso obliga a concentrarse en sistemas eléctricos para la generación de frío o calor. El edificio estará conectado a la red eléctrica municipal, de forma que puede tomar energía de la red en momentos de mayor consumo de energía que generación y devolverla a la red en momentos de sobreproducción, dependiendo de la climatología y el horario.

El edificio está conectado a una red local de climatización “district cooling”, de forma que toma el agua fría para refrigeración de la red centralizada del barrio. Sin embargo, tiene que compensar esa aportación de energía con la generación fotovoltaica.

Se propone un sistema de climatización descentralizado, de forma que el edificio tendrá mejor flexibilidad para responder a requerimientos de locales tan diferentes como puede ser un spa o un gimnasio.

### **Calefacción**

Puesto que la certificación NZEB prohíbe cualquier tipo de combustión, toda la calefacción es mediante resistencias eléctricas en los fancoils de los locales comerciales.

### **Refrigeración**

El sistema de refrigeración consiste de una red de agua fría, que se distribuye por el edificio. La alimentación principal de agua fría se nutre de un anillo exterior general proveniente del “district cooling”. Se cuenta con un intercambiador de calor del cual se alimentará la red de agua fría que discurre por el edificio y llega a cada uno de los locales para alimentar los equipos de climatización. Se instalará un medidor de energía a la entrada de cada local para cuantificar el gasto de manera individual.

### **Ventilación**

El sistema de ventilación en el aparcamiento consiste en un sistema mecánico con extracción e inyección de aire forzada mediante ventiladores.

Para los diferentes locales comerciales y zonas de servicios generales se propone realizar la renovación de aire mediante recuperadores de calor entálpicos. Estos recuperadores de aire recuperan hasta un 77% del aire de salida, contribuyendo a un edificio más ecológico y económico.

### **Iluminación**

Toda la iluminación propuesta para espacios comunes, así como locales comerciales es tipo LED. Esta tecnología es la más eficiente que existe en la actualidad. La baja potencia de sus luminarias y su alta eficiencia lumínica reduce el consumo eléctrico manteniendo unas prestaciones ideales. Además, reduce los tamaños de los tableros eléctricos y el calibre de los conductores.

### **Automatización y Control**

En un edificio de tan altas aspiraciones donde se mide el consumo real del edificio es muy importante el papel del usuario final. Es por ello que la automatización juega un papel fundamental para cumplir el objetivo cero energía. Por ello el proyecto cuenta con un sistema BMS donde se integran todos sistemas de control de iluminación, climatización, así como el consumo y generación de energía en tiempo real entre otros.

### **Influencia de las estrategias pasivas**

La aportación innovadora del proyecto Wellness Hub se refleja sobre todo en la aplicación de las estrategias pasivas del acondicionamiento del edificio. Como el proyecto cuenta con superficies exteriores amplias que forman parte de los recorridos y de las funciones principales del edificio, se considera también el microclima que se producirá en estos espacios, térmicamente considerados como intermedios. Gran aportación en este sentido tiene la celosía de hormigón poroso, que aparte de aportar sombra e inercia térmica, también conduce las brisas hacia el edificio y proporciona el efecto de la refrigeración evaporativa. El aire más fresco del espacio intermedio resultante de estos procesos influye también a él acondicionamiento del aire interior, considerando que una parte importante de los cerramientos se orienta a los espacios del patio- el espacio intermedio, por lo tanto, se minimiza el salto térmico con el espacio interior.

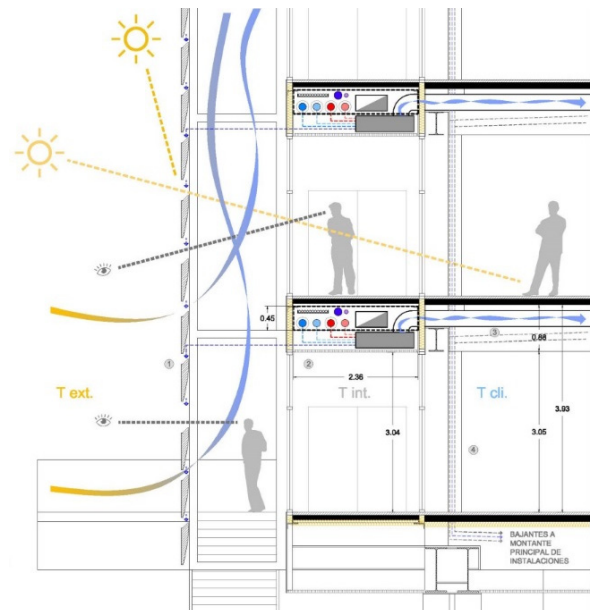


Figura 7. Sección esquemática de las estrategias de acondicionamiento.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

El proyecto cuenta con dos pérgolas fotovoltaicas en la cubierta del edificio de 650m<sup>2</sup> aprox. cada una con una potencia total instalada de 269.85 kW. Esta instalación es capaz de abastecer el proyecto de toda la energía consumida en el ciclo anual. La pérgola está formada por módulos JA Solar de 350W, microinversores Enphase IQ+ y bases Everest de aluminio anodizado con tornillería de acero inoxidable.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

La particularidad del proyecto es el consorcio empresarial que lo impulsa con el motivo de generar un primer proyecto demostrativo en México que marque nuevas formas de construir, más eficientes, respetuosas con el medio ambiente y, sobretodo, replicable. Para ello, el compromiso del consorcio fue absorber el teórico sobrecoste de un proyecto de esta ambición de forma que el promotor no tuviera que invertir más recursos pero sí se quedara con los beneficios de su operación. El proyecto inicial que tenía previsto construir el promotor debía cumplir con la certificación LEED Oro. Es por ello que el consorcio absorberá el diferencial económico entre un edificio LEED Oro, ya de por sí eficiente, y un edificio cero energía. Este sobrecoste se absorbe de diferentes maneras, algunas más tangibles como descuentos o aportación de material de los proveedores, y otros más intangibles como el tiempo y expertise del equipo técnico que diseña y coordina el proyecto. En este presupuesto no se consideran los enormes ahorros en la operación del edificio, los ingresos mayores en alquiler o el beneficio en imagen del promotor.

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El proyecto aspira a tres certificaciones ambientales:

### - Certificación Net Zero Energy Building

El sistema de certificación Net Zero Energy Building utiliza la plataforma de uno de los sistemas de certificación más exigentes que existen en la actualidad, el Living Building Challenge, y tiene como objetivo guiar a los proyectos que lo persiguen a convertirse en proyectos que se libren de los combustibles fósiles para la generación de la energía que utilizan.

Para obtener la certificación, se tiene que demostrar a través de registros de consumo energético del edificio durante su operación, que se genera el 100% de dicha energía a través de sistemas renovables de generación, y sin utilizar combustibles fósiles. Se requiere cumplir con los siguientes imperativos del sistema Living Building Challenge:

- Pétalo de Energía: Imperativo 06, Net Positive Energy
- Pétalo de Belleza: Imperativo 19, Beauty & Spirit; Imperativo 20, Inspiration & Education
- Pétalo de Sitio: Imperativo 01, Limits to Growth

### - Certificación LEED For Core And Shell V2009

LEED, que significa Liderazgo en el Diseño Energético y Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design), es un sistema de calificación de reconocimiento internacional para edificios verdes. Este sistema de calificación provee verificación externa que un edificio fue diseñado utilizando estrategias enfocadas a las mejoras del desempeño en las áreas que más impactan son: Ahorro de Energía; Eficiencia en Uso de Agua; Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>; Mejora de la Calidad del Ambiente Interior y Manejo Adecuado de los Recursos.

### - Certificación WELL Building Standard V1 Core And Shell

El sistema de certificación WELL Building Standard es el primer sistema que se centra por completo en la salud de los ocupantes del edificio. Requiere la combinación de estrategias en diseño, construcción, y operación de un edificio, que no solamente previenen el potencial impacto a la salud relacionado con el medio construido, sino que promueven prácticas que maximizan el bienestar de los ocupantes. Se enfoca en siete conceptos de aplicación: Aire; Agua; Nutrición; Bienestar Físico; Confort y Mente.

## NOBELIA, THE GATEWAY TO THE KIGALI BUSINESS DISTRICT, UN EECN DE USOS MIXTOS HOLÍSTICO E INTEGRADO EN ÁFRICA INTERTROPICAL

**Resumen Proyecto:** Nobelia, 40.000 m2 con un eje peatonal como entrada principal al distrito de negocios de Kigali, Ruanda, es el primer diseño certificado 6 estrellas GBC en África intertropical. Consumirá un 17% de la electricidad estándar y 1% del agua. Alcanzará máximo confort con estrategias pasivas y activas: enfriamiento nocturno, enfriamiento libre, almacenamiento térmico, inercia térmica, orientación cuidadosa y microclima de plantas trepadoras sobre las pasarelas de sombreado que recorren la fachada. La construcción, de bajo impacto y bajo coste, minimiza importaciones y crea industria local, con materiales sencillos, ligeros y compactos, o producidos localmente. Es flexible para que el uso se pueda adaptar con el tiempo sin invertir más recursos.



Figura 1. Imagen del Proyecto.

### MEMORIA DESCRIPTIVA

Nobelía, The Gateway to the Kigali Business District, es un EECN de usos mixtos holístico e integrado en África intertropical. Con un total de 40.000 m2, se configura como seis edificaciones, cuatro bajas y dos altas, conformando un recorrido peatonal, planteado como entrada principal al distrito de negocios de Kigali, Ruanda. Es el primer diseño en África intertropical que recibe la máxima calificación del Green Building Council, 6 estrellas (Green Star SA Office v1 Design Shell & Core), y de hecho el primero del continente fuera de Sudáfrica. Consumirá un 17% de la electricidad estándar y 1% del agua. Alcanzará máximo confort con estrategias pasivas y activas: enfriamiento nocturno, enfriamiento libre, almacenamiento térmico, inercia térmica, orientación cuidadosa y microclima de plantas trepadoras sobre las pasarelas de sombreado que recorren la fachada. La construcción, de bajo impacto y bajo coste, minimiza importaciones y crea industria local, con materiales sencillos, ligeros y compactos, o producidos localmente. Es flexible para que el uso se pueda adaptar con el tiempo sin invertir más recursos.

### Agentes del Proyecto

- Promotor: HABI Ltd. (Rwanda)
- Arquitectura: Carlos Arroyo Architects (Carlos Arroyo)
- Ingeniería: BAC Engineering (Xavier Aguiló)
- Clima: Aiguasol (Aleksandar Ivancic)
- Agua: Asepma ABM (Jochen Scheerer)

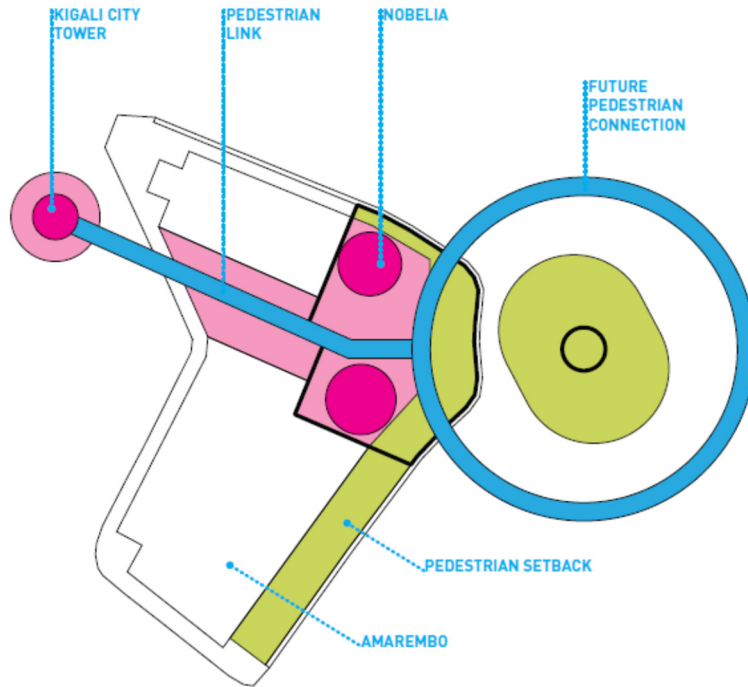


Figura 2. Situación en la puerta de la ciudad hacia la torre KCT.

## MEMORIA TÉCNICA

La orientación es la clave y el punto de partida para un diseño exitoso que apunte al bajo consumo de energía. En Kigali, las fachadas norte y sur tienen solo ángulos solares altos, con un mínimo de 23º en cada solsticio. Los ángulos solares bajos se concentran en las fachadas este y oeste. Para un cubo abstracto, sería aconsejable bloquear completamente los rayos del sol en el este, oeste y techo, al tiempo que se abren las vistas al norte y al sur, con sombreado horizontal.

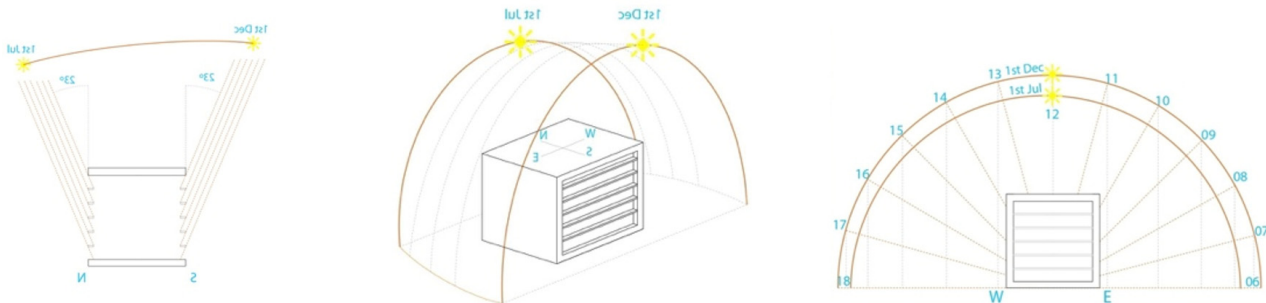


Figura 3. Claves de la orientación en zonas ecuatoriales.

Para volúmenes más complejos, particularmente con las formas curvilíneas sugeridas por el Plan Maestro de Kigali, se debe encontrar un equilibrio. Las partes más bajas de los edificios, más sombreadas entre sí, pueden ser más libres, lo que permite un uso óptimo de las plantas bajas y adaptarse a la trama urbana. Las partes superiores, independientes y no sombreadas por otros volúmenes, deben buscar una orientación exacta norte-sur siguiendo los principios descritos para el cubo abstracto. A medida que ascienden las torres, proponemos achafanar las esquinas, para obtener orientaciones este-oeste o norte-sur puras. Esto ayudará también a lograr la redondez sugerida por el Plan Maestro.

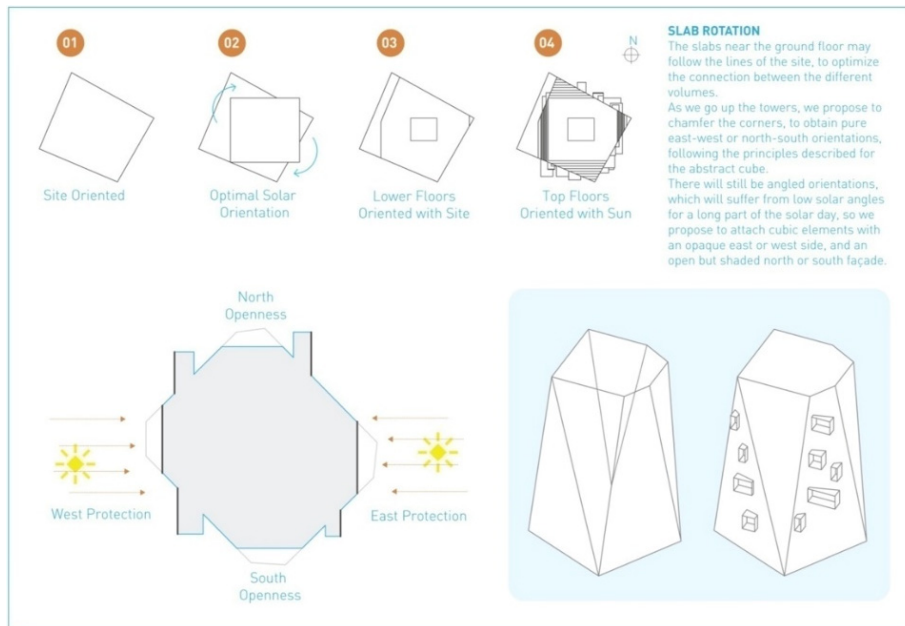


Figura 4. Adaptación de la orientación ideal al contexto.

Todavía quedarán orientaciones angulares, que sufrirán de ángulos solares bajos durante una gran parte del día solar, por lo que proponemos fijar elementos cúbicos con un lado opaco al este o al oeste, y una fachada abierta y sombreada al norte o al sur. El modelado informático proporciona el equilibrio entre la redondez, las vistas, y la mínima ganancia solar. El sombreado será proporcionado por una doble piel. La imagen del edificio la proporciona una malla ligera de cable de acero. Este es un material caro, pero por su mínimo volumen el costo de transporte al centro de África es mucho menor que la importación de un muro cortina.

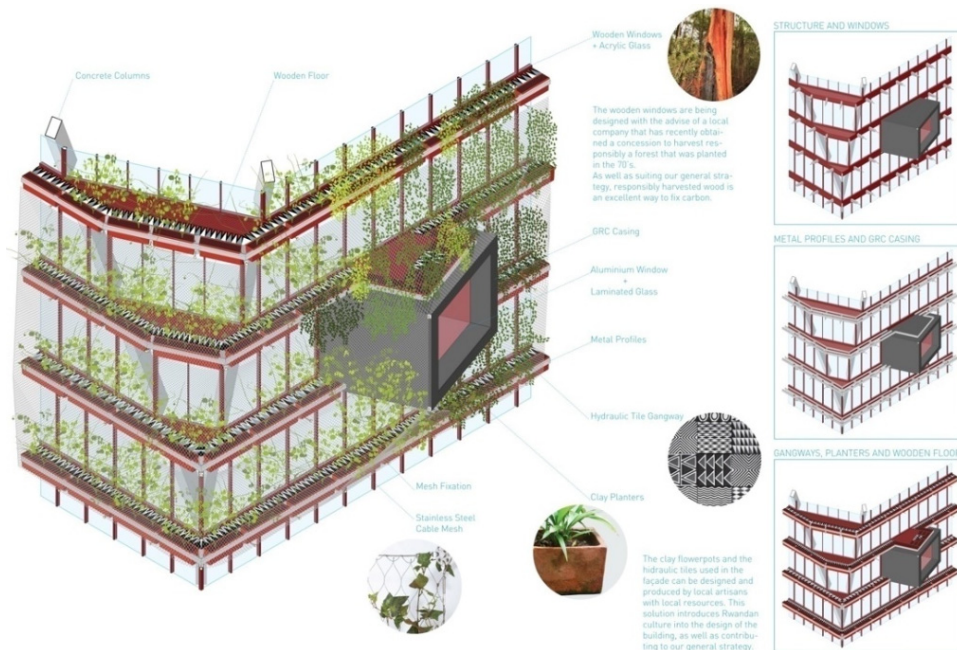


Figura 5. La piel.

La malla puede contener los diversos elementos que necesita una piel especializada: desde sombreado muy simple o complementos de detección a mallas LED para fachada de medios, o vegetación. También sirve como protección para la pasarela de limpieza, facilitando al personal no especializado acceder el acristalamiento por el exterior.

El perímetro de la pasarela está equipado con jardineras para plantas, para que crezcan sobre la malla. La vegetación se prescribe siguiendo consideraciones climáticas de dos tipos: 1) proporcionan sombra evitando ganancias solares 2) crean un microclima más estable entre el acristalamiento y la malla.

Las fachadas orientadas al norte y al sur están protegidas de las ganancias solares por la pasarela en voladizo, no necesitando mayor sombreado. Las fachadas orientadas al este y al oeste necesitarán una proyección máxima, con un promedio de 70% de cubrición sobre la malla. Mientras que las crecen plantas será necesario un sombreado temporal. Los dibujos describen elementos circulares ligeros de aproximadamente 10 cm de diámetro que se pueden colgar de la malla para obtener una textura con lentejuelas. Detrás de esta piel de alta tecnología, el cerramiento puede ser simple, carpintería de madera, para poder emplear materiales y mano de obra locales. Garantizada la reducción al mínimo de las ganancias solares, el sistema de clima ha de controlar las ganancias internas, por equipos electrónicos, iluminación, junto al calor y humedad aportado por las personas ocupantes.

Las condiciones de confort se alcanzan principalmente mediante la ventilación y la deshumidificación del espacio interior durante las horas de funcionamiento. La ventilación se prevé mediante la circulación forzada de aire exterior, con unidades de tratamiento de aire (AHU). El sistema de ventilación discurre por los núcleos de comunicación vertical, y por conductos horizontales embebidos en la estructura de la losa, con difusores unidos al techo de hormigón visto. La losa es hollow-core para conseguir ligereza y grandes luces, siendo los propios conductos de difusión los que hacen hueca la estructura.



Figura 6. La piel, en el conjunto de la edificación.

Para conseguir la deshumidificación, se aprovecha el frío de la noche. En el clima de Kigali las temperaturas son estables a lo largo del año, con máximas diarias entre 27 y 31 grados, y mínimas nocturnas entre 16 y 19 grados, según se ve en la gráfica de la figura 7. Almacenamos el “frío de la noche” en tanques de agua situados en el sótano, con un volumen de 40 m3. Durante el día, las UTAs utilizarán el agua fría para deshumidificar el aire y, en los picos de temperatura exterior, mantener la interior por debajo de los 27º con un sistema de control entálpico, aplicando criterios de confort higrotérmico.

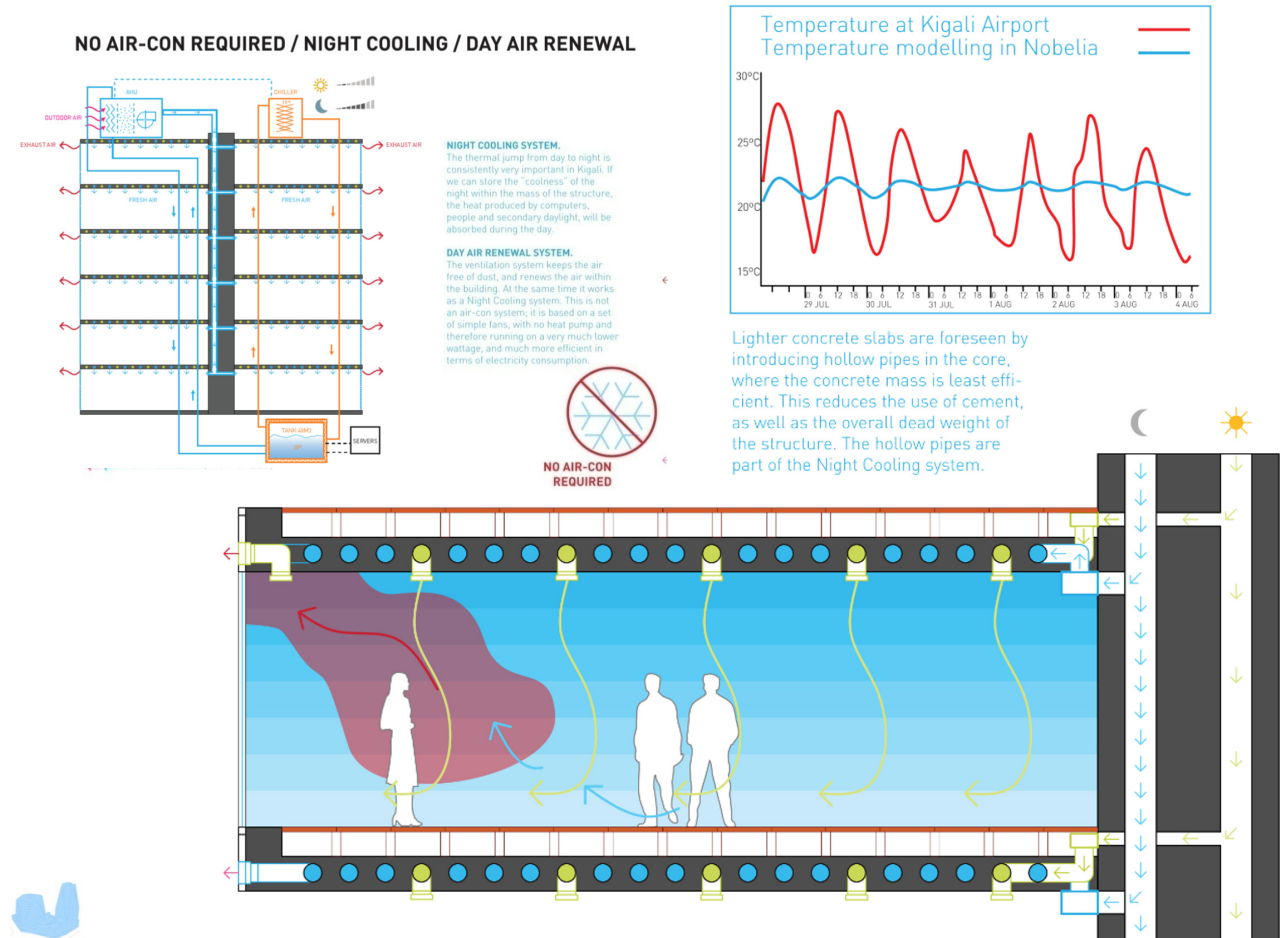


Figura 7. Esquemas de clima.

Además, el esquema incluye “night flushing” a través del sistema de ventilación, para enfriar el espacio y las losas por la noche y aprovechar su inercia durante el día.

Los volúmenes y dimensiones están diseñados para maximizar la luz natural y la ventilación dentro de los espacios. La planta de las torres maximiza el espacio contiguo a la fachada, mientras que las ventanas de piso a techo maximizan el alcance de la luz. La profundidad de los pisos comerciales a lo largo de la calle es limitada por la misma razón. La protección necesaria para minimizar las ganancias solares a través del sol directo (como se ha descrito anteriormente) evita el deslumbramiento, y se equilibra con la necesidad de luz natural y vistas. La luz artificial es controlada mediante sensores de luz, para minimizar el consumo, utilizando las fuentes LED y luminarias más eficaces, con control de iluminación por zonas de 100m2.

El principio básico es aspirar al nivel máximo de autosuficiencia que se puede obtener dentro de un costo razonable. Esto se logra mediante las siguientes tácticas:



- Reducir el consumo utilizando limitadores de caudal según cada uso
- Reducir el consumo de urinarios sin agua para WC de hombres
- Cosecha de agua de lluvia en todas las superficies de cubierta
- Limpiar una parte del agua usada hasta que pueda usarse para el contacto no humano y el riego
- Limpiar el resto del agua usada hasta que pueda utilizarse para usos en contacto humano, si se garantiza un mantenimiento adecuado
- Proporcionar distribuidores de agua mineral para beber, por seguridad

El sistema de agua se resume en el gráfico Figura 8, donde se aprecia lo siguiente: el consumo anual de agua se estima en 20.000 m<sup>3</sup>, que ya es reducido respecto a los edificios vecinos. Sin embargo, el agua extraída de la red en ese periodo es de sólo 200 m<sup>3</sup>, reduciéndose pues la demanda a 1% del uso real.

Minimizar el volumen de importaciones es esencial para mantener bajo control las emisiones y los costos del transporte. Elegimos materiales que puedan ser de origen local, al tiempo que proveemos oportunidades de negocio local cuando la transformación de esos materiales puede establecerse en el país.

Simplicidad en los detalles constructivos reduce también la masa y el peso del edificio, y evita la adición de materiales de alta energía gris. En la mayoría de los espacios no habrá techo falso.

La excavación y la eliminación del suelo, así como la retención estructural asociada, pueden ser uno de los capítulos más consumidores de energía de un proyecto y, por lo tanto, un coste importante. La intención es minimizar la construcción subterránea y, por lo tanto, el nivel de estacionamiento más bajo se ubicará en el punto más bajo de la rasante en el perímetro del terreno.

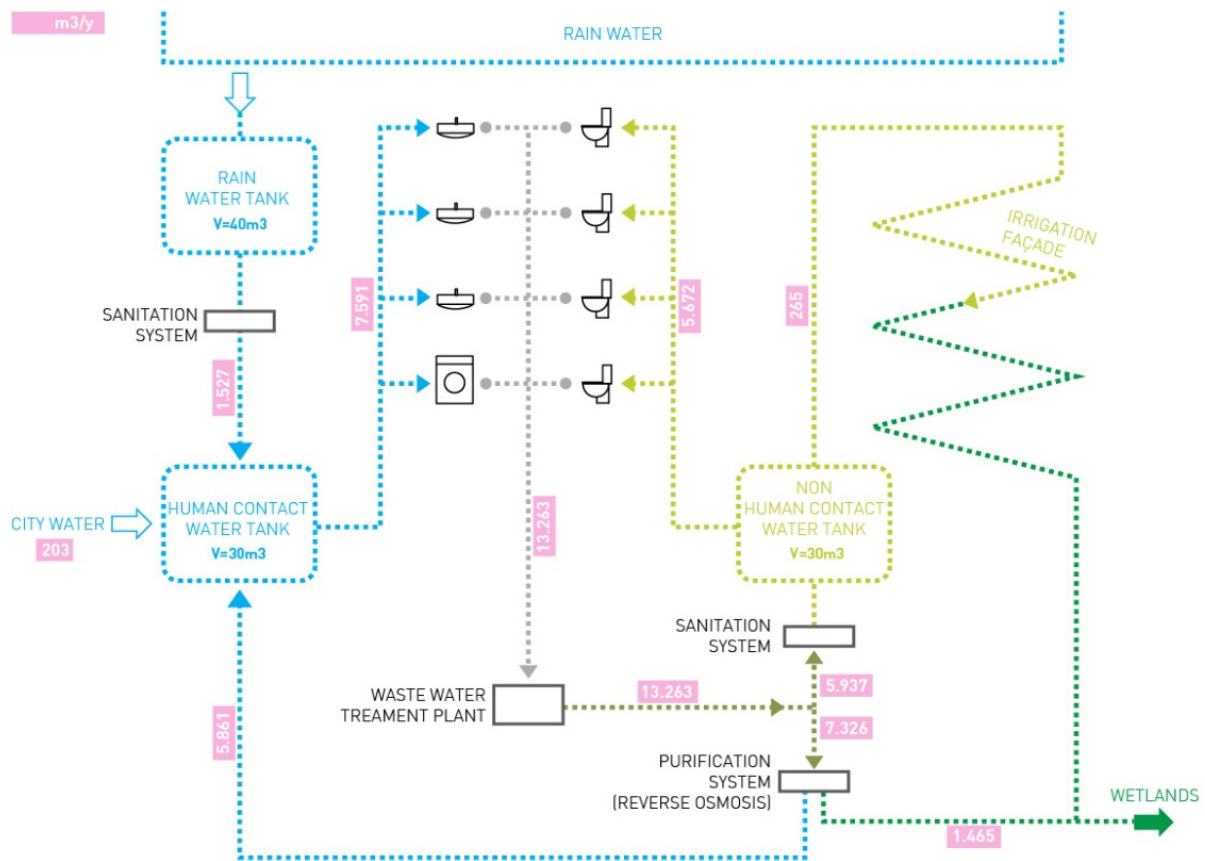


Figura 8. Esquema de agua.

Las losas de hormigón aligeradas se prevén introduciendo tubos el núcleo, donde la masa de hormigón es menos eficiente. Esto reduce el uso de cemento, así como el peso muerto total de la estructura, mientras que permite luces más grandes para facilitar la flexibilidad de uso. Los tubos forman parte del sistema climático, como se ha descrito anteriormente.

La cubierta está protegida del soleamiento directo por una pérgola fotovoltaica capaz de generar 35 kWAs.

El sistema BMS (Building Management System) monitorizará el origen de la energía en cada momento de manera que los contadores inteligentes puedan aplicar precios diferenciados según el mix de cada unidad de consumo.



Figura 9. Construcción en obra un mock-up de la estructura con conductos para probar el sistema.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Nobelía es un concepto de edificio de muy bajo consumo de energía con un alto rendimiento, diseñado para mantener el costo de construcción por debajo del promedio y mantener los costos de operación en una fracción del estándar, alcanzando los niveles más altos de comodidad, funcionalidad, flexibilidad y percepción de calidad como hito urbano.

Tras la licitación efectuada, se ha establecido el presupuesto con un coste de 950 USD/m<sup>2</sup>, por debajo de los habituales en la región (1.100 USD/m<sup>2</sup>) con prestaciones muy superiores a sus vecinos.

El cliente tiene firmados MoU con diferentes compañías para su alquiler, tanto por criterios de economía como por Responsabilidad Social Corporativa.

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	12,3 kWh/m <sup>2</sup> , año (según mix eléctrico de Rwanda)
Demanda Calefacción:	0
Demanda Refrigeración:	16,9 kWh/m <sup>2</sup> , año
Aporte Renovables:	3,8 kWh/m <sup>2</sup> , año (sistema fotovoltaico propio del edificio)
Emisiones CO2 Edificio:	6,4 kg CO2/m <sup>2</sup> , año (según mix eléctrico de Rwanda)

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

Es el primer diseño en África intertropical que recibe la máxima calificación del Green Building Council, 6 estrellas (Green Star SA Office v1 Design Shell & Core), y de hecho el primero del continente fuera de Sudáfrica.

## IMÁGENES PROYECTO

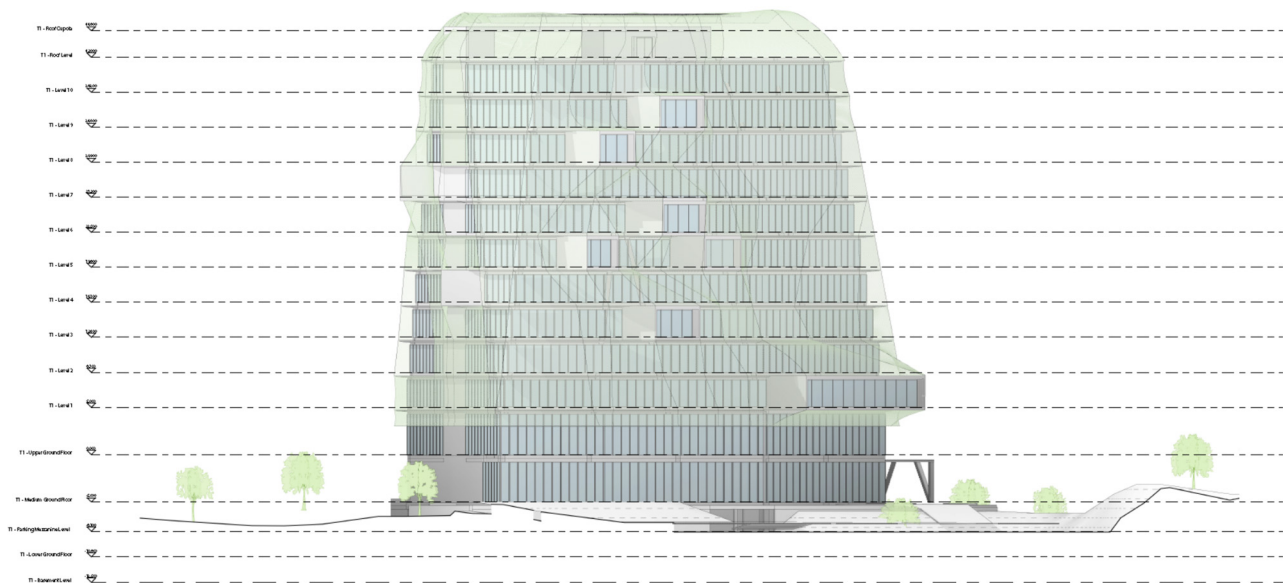


Figura 10. Alzado Sur-Oeste.

## VIVIENDAS PASIVAS EN CONSTRUCCIÓN EN VILLANUEVA DE LA CAÑADA

**Resumen Proyecto:** Descripción del proceso de selección de elementos constructivos para la caracterización de la envolvente, conclusiones y cálculos para el diseño de dos viviendas Passivhaus pareadas, (que se encuentran en construcción) en Villanueva de la Cañada. El tipo de construcción se realiza mediante sistemas tradicionales, mediante estructura mixta (hormigón-metálica) y fachadas de fábrica. El proceso de diseño comienza con un análisis de estrategias bioclimáticas que se cuantifican y potencializan por medio de varias simulaciones energéticas que finalmente se traducen en la forma arquitectónica, procesos constructivos, eficiencia energética de la edificación y mayor confort para los usuarios.



Figura 1. Fachada delantera de las dos viviendas correspondiéndose con orientación Sur.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Calle Uruguay 2A y 2B, Villanueva de La Cañada Madrid
Uso Característico Edificio:	Residencial en vivienda unifamiliar pareada
Zona Climática:	D3
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	382,95 m <sup>2</sup>
Fase del Proyecto:	En construcción

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### Agentes del Proyecto

- Promotor: Dña. M<sup>a</sup> Isabel Taracido Serrano. Dña. M<sup>a</sup> Elena Taracido Serrano.
- Proyectistas: Proyecto realizado por Clara Ulargui Aparicio, Arquitecto colegiado nº 16843 del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (COAM). Sobre una modificación de un proyecto realizado por Clara Ulargui Aparicio y Eva Lucas Segarra.
- Dirección Obra: Dña. Clara Ulargui Aparicio, D. Francisco de Paula Crespo García, con Nº 6.203 del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid.

Otros Agentes:

- ESTUDIO DE SOLEAMIENTO: Dña Daniela Gómez Lizarazo. Arquitecto. Experta en bioclimatismo.
- ESTUDIO DE INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN: Domingo Gonzalez Arias de Saunier Duval.
- ESTUDIO DE VENTILACIÓN: Gaizka Pérez. Zehnder Group Iberica Indoor Climate, S.A.
- ESTUDIO DE SISTEMA DE ESTANQUEIDAD: Iñigo Miranda Onhaus.
- CONSTRUCTORA: Barchan. S.A.

### Antecedentes

Se recibe encargo por parte de la propiedad para construirse dos viviendas pareadas de consumo casi nulo en Villanueva de la Cañada.

Para la construcción de las viviendas contaban con 3 parcelas orientadas al este. El primer trabajo que se realizó consistió en la reparcelación de las mismas, unificándolas en 2 parcelas de (563,48 y 486,48) m<sup>2</sup> respectivamente, consiguiéndose una orientación con un eje norte sur puro.

La topografía de las parcelas es muy suave, prácticamente horizontal en toda su extensión.

### Descripción del Proyecto

El proyecto responde a la intención de construir un edificio de consumo casi nulo, en el que se han utilizado técnicas de bioclimatismo unidas al cumplimiento del estándar Passivhaus.

Cumpliendo con los siguientes requisitos:

- Demanda máxima de calefacción 15 kWh/(m<sup>2</sup>año).
- Demanda máxima de refrigeración 15 kWh/(m<sup>2</sup>año).
- Demanda máxima de energía primaria 120 kWh/(m<sup>2</sup>año).
- Hermeticidad de la envolvente exterior de máximo 0,60 renovaciones /h (con una presión de 50 Pascales).

### Volumetría

La volumetría definida trata de aprovechar al máximo la orientación sur para captar la mayor radiación solar posible y así disminuir la demanda energética de las viviendas, siempre de acuerdo con las limitaciones establecidas por la normativa urbanística. Las viviendas (las dos son iguales pero simétricas) se componen de tres volúmenes entorno a un patio.

### Desarrollo Funcional

El programa funcional propuesto por la propiedad de ambas viviendas demandaba una zona de día amplia compuesta de salón comedor y cocina, un aseo, 1 dormitorio de invitados con baño propio en planta baja y con cierta independencia, 3 dormitorios para niños con dos baños vinculados a los dormitorios, una sala de estar vinculada a estos dormitorios, un dormitorio principal con cuarto de baño y vestidor, un pequeño estudio, una terraza en la cubierta, un garaje para dos plazas de aparcamiento y una bodega con un aseo.

La solución adoptada resuelve el programa de necesidades en dos bloques unidos a través de un tercero que alberga las comunicaciones verticales. Estos tres bloques delimitan un patio abierto. Los dos volúmenes de uso tienen dimensiones diferentes para adecuarse a su uso. El bloque norte, el más cercano al acceso, contiene el garaje en semisótano, el dormitorio de invitados con baño y el aseo en planta baja y el dormitorio principal en planta primera.

Al colocar el garaje en semisótano este volumen emerge por encima del bloque sur mejorando la captación solar del dormitorio de invitados. Por otro lado, el bloque sur contiene la cocina y salón comedor en planta baja y los 3 dormitorios de los niños con dos baños, así como la sala de estar de los niños en planta alta. Este bloque carece de sótano y está a una altura inferior que el bloque norte para permitir el acceso solar al resto de estancias. El tercer bloque, el de comunicaciones, alberga el acceso a la vivienda y las escaleras que comunican todas las plantas. En la planta alta este bloque acoge también una zona de estudio en el distribuidor que comunica la planta de niños con el dormitorio principal y desde donde se accede a través de una escalera a la cubierta del bloque sur. Este bloque de comunicaciones contiene también en sótano el cuarto de instalaciones. Por último, bajo el patio que forman los tres bloques se encuentra la zona no vividera de bodega que ventila y se ilumina a través de un pequeño “patio inglés” a media altura y un pequeño aseo.

## Prestaciones del Edificio

A parte de las prestaciones típicas de cualquier edificio que cumpla con código técnico, (seguridad estructural, seguridad en caso de incendios, seguridad de utilización, condiciones de higiene, salud y protección del medio ambiente, protección frente al ruido, y ahorro de energía) el edificio suma a dichas prestaciones obligatorias las prestaciones típicas de los edificios Passivhaus.

Estas son:

- EXCELENTE AISLAMIENTO TÉRMICO.
- CARPINTERÍA DE ALTAS PRESTACIONES
- ESTANQUEIDAD. EVITAR INFILTRACIONES
- AUSENCIA DE 5 PUENTES
- VENTILACIÓN MECÁNICA CON RECUPERADOR DE CALOR

## MEMORIA CONSTRUCTIVA

Caracterización de los elementos que componen la fachada.

### Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

Dadas las características del terreno se proyecta una cimentación mediante zapatas corridas de hormigón armado en los muros y zapatas aisladas en los pilares, unidas entre sí mediante vigas de atado.

La estructura soporte del edificio se resuelve mediante muros de hormigón armado y fábrica de 1 pie de ladrillo maciza desde la cimentación hasta el forjado de planta baja. Para el soporte del resto de plantas se utilizan pilares metálicos.

La estructura horizontal se ha resuelto mediante forjados reticulares de canto 25+5 con bloques perdidos de hormigón y losas macizas de hormigón armado.

### Sistemas de Envoltentes y Acabados

El cerramiento tipo del edificio se proyecta de dos hojas revestidas con un sistema de aislamiento térmico por el exterior. El cerramiento está constituido por: enfoscado exterior de 1 cm de espesor, 18 cm de aislamiento térmico de poliestireno expandido EPS gráfico con conductividad térmica 0,031 W/mK sobre medio pie de ladrillo perforado tosco. Sobre esta hoja se coloca una lámina de estanqueidad al aire, pero permeable al vapor de agua. Para proteger la lámina se coloca tabicón de ladrillo hueco doble de 7 cm acabado con un enlucido de yeso y pintura plástica lisa.

Las cubiertas no transitables, se compone de grava de 5 cm de espesor, lámina asfáltica auto protegida, formación de pendientes de mortero, 45 cm de poliestireno extruido XPS y lámina de polietileno como barrera de vapor sobre el forjado reticular 25+5 de bloques perdidos de hormigón en el caso del bloque norte y sobre losa de 18 cm en el caso del bloque de comunicaciones. Bajo el forjado reticular se coloca falso techo directo y bajo la losa en el bloque de comunicaciones se enlucen directamente. En ambos casos se termina con pintura plástica lisa.

El suelo en contacto con el terreno del espacio habitable de planta baja (cocina y salón comedor) se resuelve con una losa solera de 25 cm de espesor sobre 10 cm de panel rígido de poliestireno extruido XPS, lámina de polietileno y enchachado de grava de 45 cm de espesor. Por el interior se termina con un suelo radiante refrescante compuesto por film de polietileno, panel aislante, mortero.

En el caso del garaje, la sala de instalaciones, la bodega y la solera de la terraza exterior se resuelve mediante una solera de 15 cm de espesor sobre lámina de polietileno y 45 cm de enchado de grava. El acabado final en la zona de instalaciones y garaje será mediante un pavimento continuo de cuarzo gris.

En el caso de la solera bajo la escalera de bajada al sótano, distribuidor 7 y parte de la bodega se resuelve: solera de 15 cm de espesor sobre 10 cm de panel rígido de poliestireno extruido + lámina de polietileno + enchado de 45 cm de grava.

El acabado final general es un gres porcelánico recibido sobre cemento cola.

La carpintería exterior será de aluminio con rotura de puente térmico. El acristalamiento se adecua a la dimensión y la orientación de la ventana. En las ventanas con orientación norte y oeste el acristalamiento será triple, de baja emisividad con una composición de vidrio: 4+4 Bajo emisivo/16 Argón/4/16 Argón/4+4 Bajo emisivo con una transmitancia térmica de 0,65 W/m<sup>2</sup>K. Por otro lado, en las ventanas con orientación sur se utiliza un acristalamiento doble 6/20Argón/4 Bajo emisivo y de seguridad 4+4/20Argón/4+4Bajo emisivo en las ventanas de grandes dimensiones con una transmitancia térmica en ambos casos de 1,1 W/m<sup>2</sup>K.

## Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

### **Calefacción**

Para la calefacción, se propone un sistema de suelo radiante en todas las estancias combinado con radiadores de tipo toalleros a baja temperatura en los aseos. El sistema elegido responde a un criterio de confort interior. El suelo radiante esta alimentado por una bomba de aerotermia. Genia Air 8 de Saunier Duval.

### **Refrigeración**

Para la refrigeración, se propone un sistema de suelo radiante en todas las estancias. El sistema elegido responde a un criterio de confort interior.

### **Ventilación**

El edificio cuenta con un sistema de VENTILACIÓN mecánica de doble flujo con recuperador de calor para garantizar la renovación de aire. Con posibilidad de realizar free cooling.

### **Iluminación**

Se prevé el uso de leds en todas las luminarias.

### **Automatización y Control**

Existen sistemas de automatización para todos los equipos de climatización y ventilación.

## Energías Renovables in situ o en el entorno

### **Tipos Energías Renovables**

Se utilizará energía termo solar para el calentamiento del ACS y en un futuro se dispondrá de energía solar fotovoltaica para autoconsumo.

## Proceso de selección de elementos constructivos para la caracterización de la envolvente y conclusiones del diseño.

Mediante simulación energética, con el programa informático Design Builder, se realiza una simulación dinámica del modelo, con el objetivo de definir y calcular, el mejor sistema constructivo para lograr nuestro objetivo.

Se tienen en cuenta los muros perimetrales de la parcela y las futuras posibles edificaciones que arrojarían sombra la vivienda.

Se consideran los parámetros de Passivhaus para diseño, como la temperatura interior constante en invierno a 21°C, la estanquidad.

Partimos de una envolvente térmica que se corresponde con con parámetros de transmitancia térmica superiores a los exigidos por CTE y los que parecen recomendables para el diseño de viviendas Passivhaus en climas Templados.

Esto se traduce en transmitancias para los elementos de la envolvente entre (0,2-0,3) W/m<sup>2</sup>K y transmitancias en ventanas de alrededor de 0,1 W/m<sup>2</sup>K.

Así realizaremos una primera simulación con los siguientes parámetros:

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. SIMULACIÓN DE PARTIDA		
CUBIERTA:	20 Cm	Demanda de Calefacción
FACHADA SATE:	10 Cm	20,01Kwh/ m <sup>2</sup> *a
VIDRIOS:	Dobles	
SUELOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	10 Cm	
SUELOS EN CONTACTO CON GARAJE	9,17 kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> *a	Demanda de Refrigeración
INFILTRACIONES	0,1 ren/h	20,01Kwh/ m <sup>2</sup> *a
VENTILACIÓN		
CARGAS INTERNAS/EQUIPOS	2,1W/m	

Tanto la demanda de calefacción como la de refrigeración se encuentran por debajo de lo que solicita el CTE pero por encima del estándar Passivhaus.

Estudiamos el gráfico de balance de cargas, (situado en la página siguiente), para examinar que elemento constructivo es responsable de la demanda energética.

En la figura superior se representa, por meses y según barras apiladas, la carga térmica asociada a cada elemento de la envolvente, siendo estas positivas, si se sitúan por encima del eje x y negativas si se sitúan por debajo.

En la figura inferior se representa la energía requerida al sistema resultado del balance de cargas.

Así, podemos observar que la máxima responsable de las demandas de calefacción en invierno son las pérdidas de carga por muros, seguidas de las pérdidas de carga por ventanas y techos.



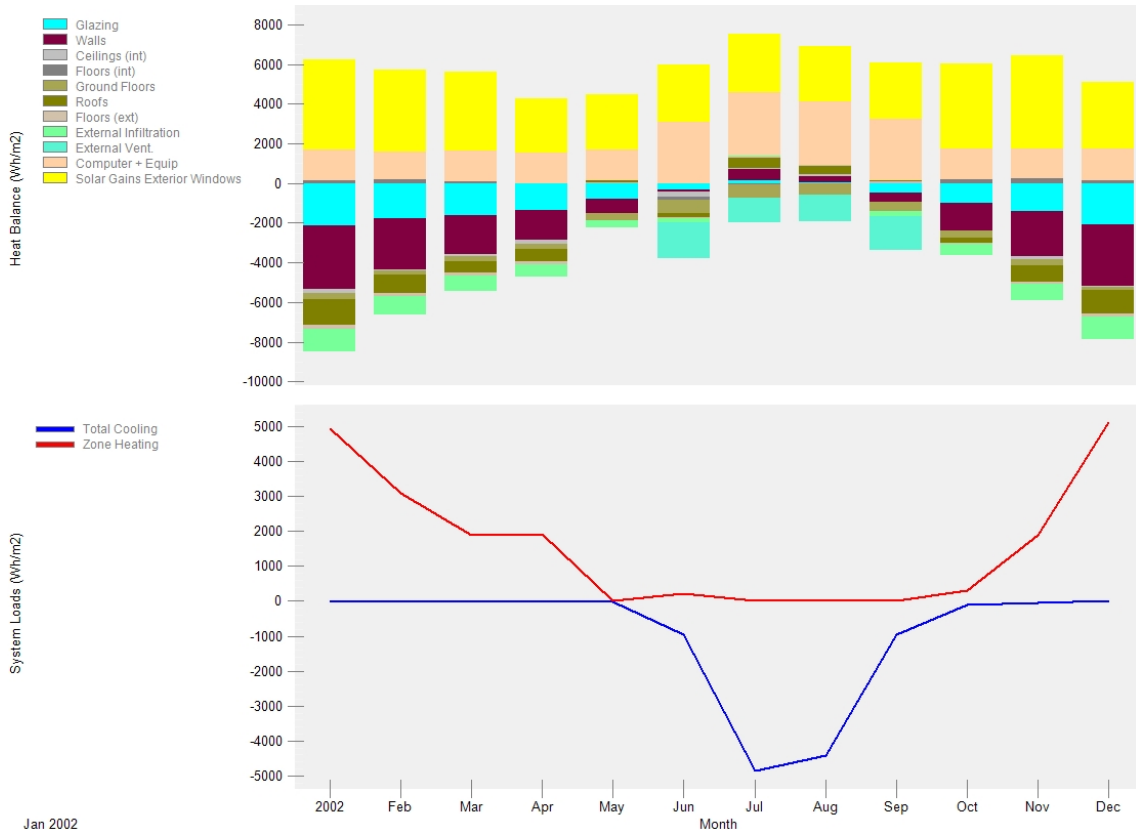


Figura 2. Gráfico de balance de cargas en la simulación de partida.

A partir de esta situación se hacen simulaciones energéticas que cambian estos elementos de la envolvente obteniendo los siguientes resultados:

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. CAMBIO DE FACHADA variación de espesor de SATE		
	Demanda de Calefacción	Demanda de Calefacción
FACHADA SATE 18 Cm	16,23 Kwh/m <sup>2</sup> *a	10,97 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
FACHADA SATE 25 Cm	15,53 Kwh/m <sup>2</sup> *a	8,81 Kwh/ m <sup>2</sup> *a

**Conclusión:** Desciende notablemente la demanda de calefacción de 20,01Kwh/m<sup>2</sup>\*a a valores próximos al estándar. Debido a la pérdida de espacio útil en la vivienda, se opta por un SATE de 18cm.

Partiendo del cambio de SATE a 18 cm se realiza el estudio de las diferentes composiciones de vidrios:

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. CAMBIO DE COMPOSICIÓN DE VIDRIOS		
	Demanda de Calefacción	Demanda de Calefacción
VIDRIOS TRIPLES EN TODA LA VIVIENDA	21,73 Kwh/m <sup>2</sup> *a	10,63 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
VIDRIOS TRIPLES EN FACHADAS N Y DOBLES EN RESTO DE FACHADAS	16,23 Kwh/m <sup>2</sup> *a	10,67 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
VIDRIOS TRIPLES EN FACHADAS N Y O Y DOBLES EN FACHADAS SUR	16,26 Kwh/m <sup>2</sup> *a	10,45 Kwh/ m <sup>2</sup> *a

**Conclusión:** El uso de vidrios triples en la vivienda es desaconsejable ya que se produce una pérdida importante de ganancia solar al descender el factor solar de este tipo de vidrios. En España al tener una fuerte radiación es aconsejable la localización de vidrios dobles en orientaciones sur. En el caso de nuestra vivienda, al encontrarse la fachada oeste remetida con respecto al bloque sur, tanto en invierno como en verano se producen sombras sobre estas ventanas no afectando ni en la ganancia solar ni en la excesiva necesidad de sombreado.

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. CAMBIO DE COMPOSICIÓN DE LA CUBIERTA		
	Demanda de Calefacción	Demanda de Calefacción
CUBIERTA CON 45 CM DE AISLAMIENTO	14,90 Kwh/m <sup>2</sup> *a	10,23 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
<b>Conclusión:</b> Una mejora de la cubierta nos permite alcanzar los valores de demanda exigidos por el estándar Passivhaus.		

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. INTRODUCCIÓN DE PROTECCIONES SOLARES		
	Demanda de Calefacción	Demanda de Calefacción
SISTEMA DE MALLORQUINAS CON LAMAS DE 10 cm	14,90 Kwh/m <sup>2</sup> *a	8,8 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
<b>Conclusión:</b> A pesar de las protecciones fijas creadas por los cajones a modo de voladizo que nos ofrecen también protección lateral, la introducción de mallorquinas ayuda al descenso de la demanda de refrigeración, A pesar de no ser necesarias ya que la geometría de la vivienda ofrece alto nivel de sombreado a las ventanas. La decisión de colocar estos elementos se corresponde con una estrategia de privacidad y seguridad.		

CARACTERIZACIÓN DE LA ENVOLVENTE. Otras simulaciones relacionadas con la reducción de huecos		
	Demanda de Calefacción	Demanda de Calefacción
REDUCCION DE HUECOS EN FACHDAS SIN CAPTACION SOLAR	SIMILAR	SIMILAR
<b>Conclusión:</b> Se han realizado otras simulaciones para evaluar la influencia de la reducción de huecos en fachadas sin captación solar, obteniendo unos valores de demanda muy similares a los obtenidos tras aplicar las medidas anteriores. Esto es debido a que, la envolvente de la casa, al no tratarse de un edificio compacto, es muy extensa y la reducción de huecos pequeños no le afecta.		

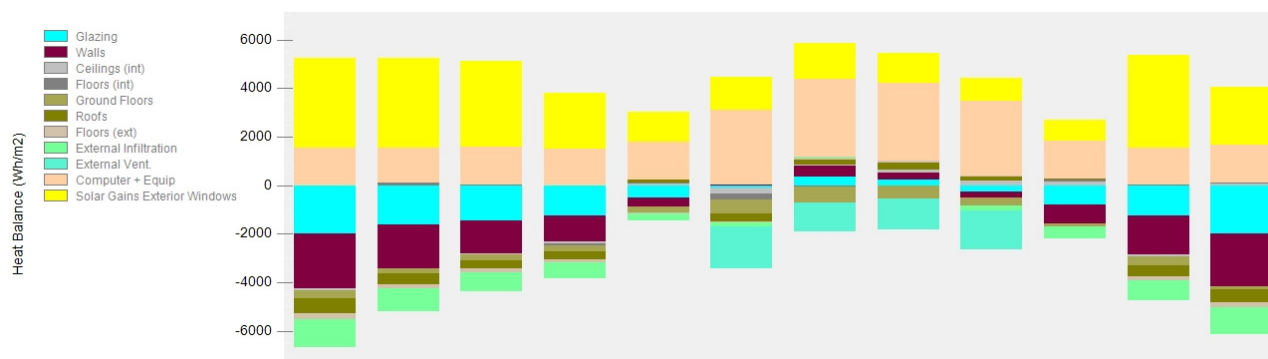


Figura 3. Gráfico de balance de cargas en la simulación final.

## PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

El presupuesto total por vivienda, incluyendo cerramiento de la parcela, asciende a 456.320€ (1.191,59€/m<sup>2</sup>).

## CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

INDICADORES	
Consumo Energía Primaria no renovable:	53,32 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
Demanda Calefacción:	14,9 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
Demanda Refrigeración:	8,8 Kwh/ m <sup>2</sup> *a
Aporte Renovables:	
Emisiones CO2 Edificio:	9,17 kgCO2/ m <sup>2</sup> *a

## CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

Calificación A obtenida en el certificado de eficiencia energética de edificios.

## IMÁGENES PROYECTO

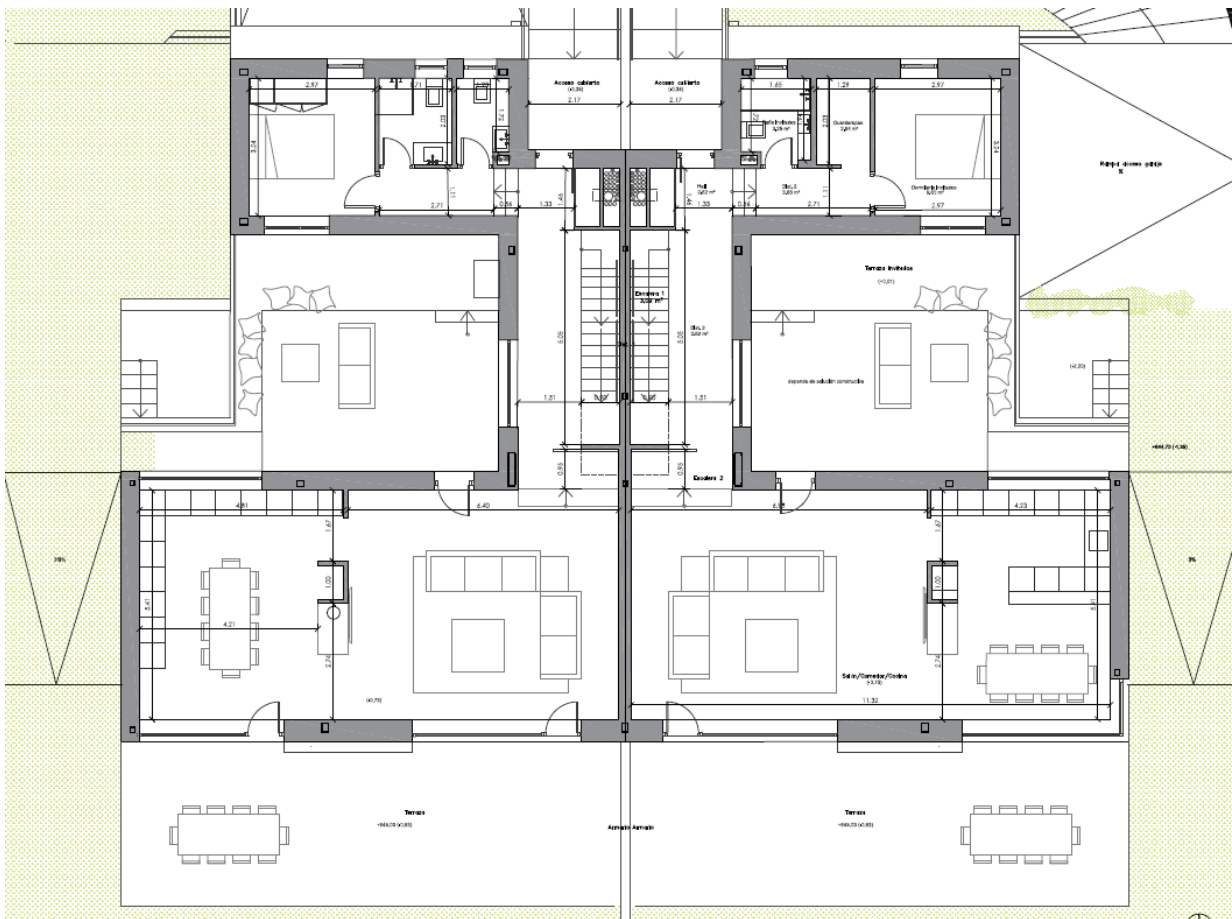


Figura 4. Plano vivienda.

PATROCINIO ORO:



PATROCINIO PLATA:



PATROCINIO BRONCE:

