

# CENER



CTE **Plus**

EL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGIA Y  
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN VIVIENDAS  
MEDIANTE INCREMENTO DEL AISLAMIENTO

España 2005-2012

**ROCKWOOL**<sup>®</sup>  
LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

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

Estudio realizado por CENER para ROCKWOOL

En las últimas décadas hemos asistido en España a un incremento sostenido del consumo de energía en consonancia con la mejora del bienestar y de la favorable evolución de la economía.

La bonanza económica ha propiciado que en los hogares españoles se incremente el número de aparatos que consumen energía ya sea para ocio (ordenadores, impresoras), para mejor confort térmico (equipos de aire acondicionado, bombas de calor) o para comodidad de sus inquilinos (secadoras, lavaplatos). Este gasto en ocasiones desmesurado de energía y la adopción de hábitos que invitan al derroche no son en absoluto sostenibles a medio y largo plazo. El ciudadano medio ignora el importe de sus recibos y que existen medidas simples para ahorrar energía.

Paralelamente, la vida en el planeta se ve acosada por el deterioro de la capa de ozono como consecuencia de la proliferación de los gases producto del consumo de combustibles de origen fósil, que provocan el llamado efecto invernadero y que amenaza el mantenimiento del ecosistema, lo que se traduce en cambios en el clima y que pueden, con el tiempo, obligarnos a modificar nuestros hábitos de vida.

Europa ha tomado conciencia del problema y, desde hace varios años, diferentes directivas han sido publicadas con el ánimo de reducir el consumo de energía y, en consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Un nuevo problema se añade al consumo de energía, se trata de la dependencia que tiene Europa (y España) de la importación de combustibles fósiles para el correcto funcionamiento de la industria y el comercio: se estima que en 2030 en Europa el 90% del petróleo y el 80% del gas será de importación <sup>(1)</sup>. El considerable aumento del precio de estos carburantes ya sea por exceso de la demanda (desarrollo de países emergentes como la India o China) como por problemas en la oferta (falta de estabilidad política en los países productores: Irak, Venezuela), se traduce en un incremento imparable del coste de la energía.

Los gobiernos europeos se apresuran a poner en marcha medidas tendentes a neutralizar los efectos del exceso de consumo energético en el medio ambiente y el incremento del coste de los combustibles en el nivel de vida de los ciudadanos. Para ello se han implementado diferentes medidas que van desde programas de concienciación y educación de los ciudadanos para que en sus hábitos de vida reduzcan los consumos excesivos de energía, pasando por favorecer las tecnologías que permiten producir energías renovables, o el incremento de los niveles de aislamiento en los edificios.

Este estudio pretende contribuir al debate sobre las medidas para reducir el incremento imparable de los costes de la energía y el deterioro de nuestro entorno, mediante una propuesta para el incremento sostenible del aislamiento térmico en los edificios. Estas medidas deben aplicarse sin tardanza tanto en la edificación nueva como en el parque de edificios existente.

(1) Green Paper-Comisión Europea 2005

## 1-1 Objetivos del estudio

Con la firma del Protocolo de Kioto en 1997, los países industrializados tomaron el compromiso de reducir durante el periodo 2008-2012 las emisiones de los 6 gases responsables del efecto invernadero, entre los que destaca el CO<sub>2</sub>. España se comprometió a que sus emisiones no superarían el 15% de las generadas en 1990. El 4 de Enero de 2006 entró en vigor en la Comunidad Europea la Directiva 91/2002, de Eficiencia Energética, que implicará la adopción por parte de los países miembros de toda una serie de medidas que fomenten la reducción del consumo energético de los edificios y la calificación de estos en función de su eficiencia energética. A partir de esa fecha toda vivienda vendida o alquilada deberá disponer del correspondiente documento acreditativo de su eficiencia energética.

La normativa relativa al aislamiento térmico en los edificios en España se encuentra recogida en la NBE-CT-79. Esta norma obsoleta será substituida por el “Código Técnico de la Edificación” (CTE) cuya aplicación se espera para 2006. Uno de los documentos que forman el mencionado CTE, es el DB-HE1 (Documento Básico Ahorro Energético), donde se indican las medidas para limitar la demanda energética del edificio.

En 2004 el Ministerio de Economía y Hacienda publicó el documento llamado E4 “Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 - 2012”, donde, en el apartado dedicado al sector de la Edificación, incluye un estudio del potencial de ahorro energético comparando la existente y la futura reglamentación:

- El escenario existente con la NBE-CT 79
- El escenario futuro con el CTE

Para la realización del estudio e identificar el potencial, se utilizaron tres modelos diferentes de edificios, dos de tipo residencial, y un tercero de oficinas. Éstos fueron simulados en tres zonas climáticas diferentes (Sevilla-B4, Madrid-D3 y Burgos-E1). La media de ahorro potencial fue calculada aplicando una distribución de la población (63% en la zona climática B4, el 34% en la D3 y el 3% restante en la zona E1).

El primer objetivo de este estudio es mostrar el impacto positivo que el incremento de espesores de aislamiento en los edificios nuevos puede aportar al ahorro energético y a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en España.

El segundo objetivo consiste en valorar el coste que representará para España el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub>, dado que va a penalizarse a aquellos países que emitan en exceso CO<sub>2</sub> respecto a la cuota asignada.

En el presente trabajo se ha investigado el efecto de un posible futuro escenario con mayor demanda energética que el escenario del CTE (versión Abril 2005), mediante la comparación entre:

- El escenario normativo CTE DB-HE1 (que llamaremos CTE)
- Un escenario que llamamos CTE-PLUS basado en el “espesor matemáticamente óptimo de aislamiento”

El estudio trabaja con la hipótesis de un cambio en las características térmicas de las cubiertas y de las fachadas incrementando el espesor de aislamiento. Los resultados se refieren solamente a edificios nuevos construidos en el periodo 2005-2012. Los modelos de edificios empleados son los mismos definidos en el estudio E4, vivienda unifamiliar adosada y bloque de viviendas.

El estudio pretende ser objetivo y conservativo en lo posible en sus conclusiones.

## 1-2 Metodología empleada en el estudio

---

El estudio se ha basado en simulaciones paramétricas de dos modelos de edificios, uno de vivienda unifamiliar y otro de viviendas en bloque. Las fases para la realización del estudio fueron las siguientes:

### Para los edificios

---

Ahorro de energía obtenido con el incremento del espesor de aislamiento prescrito por el CTE, mediante el espesor óptimo y la amortización de la inversión.

#### — Simulaciones paramétricas

Sobre cada y para cada zona climática de referencia seleccionada, se han ido variando los espesores de aislamiento de centímetro en centímetro, para determinar los ahorros obtenidos en función de cada espesor, obteniendo una gráfica que determina los ahorros energéticos en función del espesor.

#### — Ahorro de energía

Se ha determinado el coste de esa energía ahorrada, en función de un precio de energía medio considerado.

#### — Coste del aislamiento

En cada caso se ha determinado el coste del aislamiento, en función del espesor aplicado.

#### — Espesor matemáticamente óptimo

Se ha hallado el espesor del aislamiento óptimo matemático para cada modelo y zona climática de referencia mediante la utilización de los “ahorros de energía” y “costes inversión”. Se ha seleccionado finalmente un valor de incremento de espesor matemáticamente óptimo para cada zona climática de referencia.

#### — Amortización

Se ha realizado un cálculo del tiempo estimado de retorno de la inversión inicial, en función del grosor de aislamiento considerado, para cada modelo y zona climática de referencia

#### — Aplicación de los valores óptimos

En primer lugar, se han agrupado las 12 zonas climáticas de España en tres grupos, uno por cada zona climática de referencia. A cada grupo se le ha asignado el mismo espesor matemáticamente óptimo que el hallado para su zona de referencia. En segundo lugar se ha seleccionado un año climático tipo por cada zona climática.

#### — Obtención de los resultados en ahorro para cada zona climática con el espesor óptimo propuesto

Para cada modelo de edificio y en cada zona climática se ha calculado el ahorro energético teniendo en cuenta los correspondientes datos climáticos.

### Cálculos a nivel nacional

---

#### — Obtención de los ahorros obtenidos en cada zona climática con el óptimo propuesto

Se han hallado, con el espesor óptimo asignado y con el año meteorológico tipo elegido para cada zona climática, los ahorros de cada modelo de vivienda en cada una de las capitales de provincia de España.

#### — Extrapolación de resultados

Los resultados obtenidos para cada modelo de edificio han sido extrapolados para calcular los valores de energía ahorrada, y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, para el periodo 2005 – 2012, teniendo en cuenta la previsión de construcción de nuevos edificios en ese periodo.

### 1-3 Modelos de simulación y programas de cálculo

El estudio ha sido concebido con el propósito de ser lo más objetivo posible. Para ello se han utilizado siempre programas y datos oficiales. Para determinar el número de nuevos edificios construidos (\*) y el escenario de consumo de energía para el periodo 2005 – 2012 han sido empleados estudios y programas que han sido considerados fiables, y que se describen a continuación.

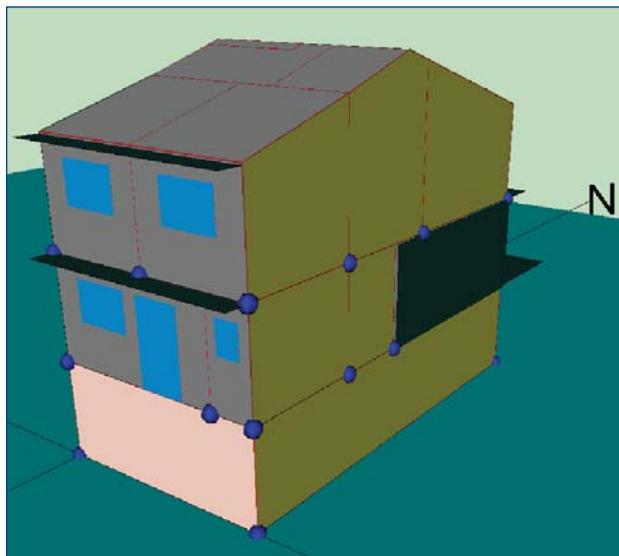
(\*) Ver 1.5 Estadísticas

#### Modelos de edificios

Se han utilizado para la realización del estudio los mismos modelos de viviendas individuales y de bloque de viviendas que fueron utilizados en el documento oficial del Ministerio de Economía E4 “Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012”, sector edificación.

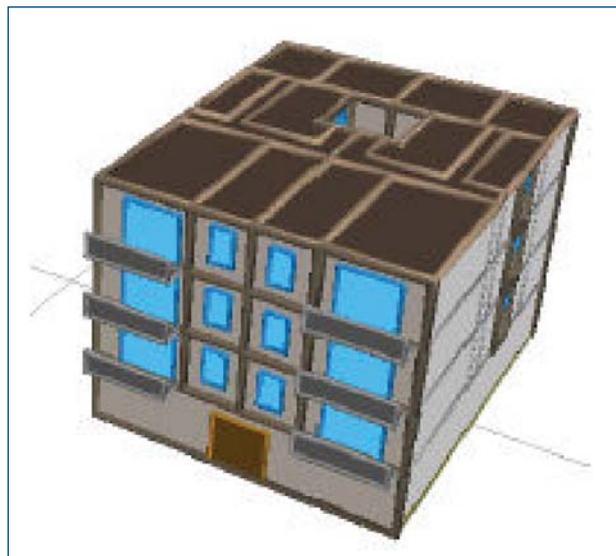
Los modelos están descritos en detalle en el Anexo 1.

**Figura 1:** Vivienda unifamiliar



*Fachada Sur*

**Figura 2:** Bloque de viviendas



*Fachada Este*

#### Programas de simulación empleados

El estudio ha sido realizado utilizando el programa de simulación CALENER 2.02, que en el futuro servirá para certificar la eficiencia energética de los edificios, de acuerdo con la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (DEEE). El programa CALENER utiliza como motor de cálculo el programa DOE 2.2.

## 1-4 Principales parámetros utilizados

### Precio de la energía

Predecir la evolución del precio de la energía es complicado, dado que ello no sigue reglas demasiado claras. El estudio se ha basado en la base de datos del Eurostat-05, que indica los precios de la energía en los últimos años, y otros estudios <sup>(1)</sup>. En función de ello y de la opinión de expertos consultados se ha optado por aplicar un incremento anual del coste de la energía del 1,5%

(1) E.G. Ecofys report "Mitigation of CO<sub>2</sub>" 2004

**Tabla 1: Precio de la energía**

	Incremento anual	Precio de la energía 2004 (€/kWh)	Precio medio de la energía 2004-2044 (€/kWh)
Gas	1.5%	0.0348	0.0479
Electricidad	1.5%	0.1097	0.1511

### Precio del aislamiento

Se ha aplicado un precio del aislamiento fijado en 36 €/m<sup>3</sup> independientemente del espesor empleado. En el precio no se ha tenido en cuenta la mano de obra dado que el CTE ya prevé la necesidad de aplicar un mínimo de aislamiento y, consecuentemente, la mano de obra ya está contemplada. Ello implica una simplificación en el cálculo dado que la mano de obra es aproximadamente la misma, con independencia del espesor utilizado dentro del rango de espesores empleado en el presente estudio.

### Durabilidad del aislamiento

A efectos de cálculo se ha decidido considerar 40 años como tiempo de servicio de los productos, tras 40 años de uso parece adecuado pensar en una renovación de los cerramientos del edificio.

### Penalización del precio CO<sub>2</sub>

Como medio para obtener el valor del CO<sub>2</sub> no emitido, se ha empleado una penalización de 20 €/tCO<sub>2</sub>. Para obtener este valor medio se ha analizado previamente el histórico de la evolución del precio del CO<sub>2</sub>, incluyendo las indicadas en el informe de PriceWaterhouseCoopers: "Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española", donde se considera que entre 10 – 30 €/tCO<sub>2</sub> es un valor de intervalo conservativo, y muestra que la media resultante de los modelos presentados en el mencionado informe es alrededor de 20 €/tCO<sub>2</sub>.

El precio máximo de penalización convenido para el primer periodo del acuerdo de Kioto se ha fijado a 50 € y 200 €/ tCO<sub>2</sub>, para el segundo periodo.

### Valores de conversión de CO<sub>2</sub>

Para convertir los valores de energía en emisiones de CO<sub>2</sub> es necesario definir unos valores de conversión. En este caso, los valores de conversión utilizados son los mismos que se encuentran en el programa CALENER. Son los siguientes:

**Tabla 2: Valores de conversión de CO<sub>2</sub>**

Tipo de energía	Valores de conversión (Kg CO <sub>2</sub> /kWh)
Gas Natural	0.2
Electricidad	0.486

## 1-5 Estadísticas

## Estimación de edificios de viviendas a construir en el período 2005-2012

Para la estimación del número de edificios que se construirán en el período, se han analizado informaciones procedentes de dos orígenes diferentes:

- Licencias de Construcción de edificios procedente de la base de datos del Ministerio de Fomento.
- APCE-AFI (2) informe “Demanda de edificios:2013 pronóstico. Análisis del parque de edificios”

**Tabla 3:** Estimación de edificios de viviendas a construir en el periodo 2005-2012

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Nº Viviendas</b>	633.867	643.603	603.045	465.045	451.088	442.072	483.230	424.665

**Tabla 4:** Estimación de la superficie total de los edificios (m<sup>2</sup>)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Total Nacional</b>	76.060.840	84.840.660	84.840.660	84.840.660	84.840.660	84.840.660	84.840.660	84.840.660

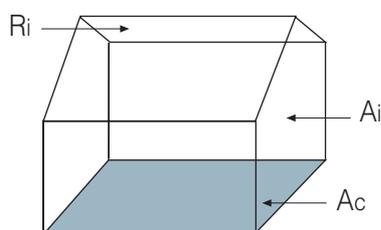
(2) AFI: International Financial Analysts, (prestigiosa compañía creada en 1987) cuya principal actividad se centra en ofrecer información financiera y sobre inversiones a empresas.

## 1-6 Estimación del porcentaje de área acondicionada

En España no todas las superficies de las viviendas son calefaccionadas o refrigeradas, por ello y para poder extrapolar los resultados es necesario conocer qué parte de la superficie de los edificios de referencia va a ir acondicionada. Este análisis debe realizarse también región a región.

Para hacer el estudio más fiable se ha procedido a emplear los mismos porcentajes de área acondicionada que en los modelos de edificios del documento E4. El porcentaje de área acondicionada varía de una zona a otra, por ejemplo en el norte de España es normal climatizar la cocina y el baño, lo cual no ocurre en las Comunidades del Sur.

**Figura 3:** Factor de conversión (Fc), Ejemplo:



$$\text{Área Acondicionada} = A_c = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{Total área de fachada aislada} = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 110 \text{ m}^2$$

$$\text{Total área de cubierta aislada} = \sum R_i = R_1 + R_2 = 95 \text{ m}^2$$

Dado que el incremento de energía se expresa en kWh por m<sup>2</sup> de vivienda acondicionada y no en kWh por m<sup>2</sup> de cerramiento, es necesario usar la constante **Fc**. Esta constante se usa para transformar m<sup>2</sup> de viviendas acondicionadas en m<sup>2</sup> de aislamiento instalado. Según la tipología de la vivienda nos dará la cantidad de m<sup>2</sup> necesarios instalar por cada m<sup>2</sup> acondicionado.

Ejemplo: Si tenemos 80 m<sup>2</sup> de vivienda acondicionada, tenemos 110 m<sup>2</sup> de fachadas aisladas + 95 m<sup>2</sup> de las cubiertas:

$$F_c = (110+95) / 80 = 2.56$$

## 2-1 Espesor óptimo versus espesor ideal

Cuando en el presente trabajo se habla de “espesor matemáticamente óptimo”, significa que con las premisas consideradas los beneficios económicos son los máximos. Sin embargo, con más aislamiento los ahorros siguen incrementándose, aunque los beneficios económicos comienzan a disminuir. Desde el punto de vista de ahorro energético y de emisiones de CO<sub>2</sub>, el aislamiento ideal teórico, sería aquel en que se produzcan los máximos ahorros sin ningún coste económico. En la gráfica se ha llamado “espesor de aislamiento ideal”, a aquel punto en el que obtenemos el máximo de ahorro energético pero ningún beneficio económico.

## 2-2 Modelo de cálculo para el aislamiento óptimo

Con el objetivo de encontrar el aislamiento óptimo, se ha usado un análisis de coste-beneficio. Este modelo de cálculo es similar al usado en el informe de ECOFYS: "Cost-Effective Climate Protection in the EU building stock":

Para realizar esto, se creó una función “beneficio económico” (B (e)) definida como la diferencia entre “ingresos” (I (e)) (costes anuales totales derivados del ahorro cuando se aumenta el aislamiento) y “gastos” (G (e)) (Coste anual de la inversión al aumentar el aislamiento).

Esto es:

$$B(e) = I(e) - G(e)$$

Para obtener el máximo de la función, esto es, el máximo del “Beneficio económico”, se debe derivar la función resultado e igualarla a cero (para verificar que B(e) es el máximo de la función, debe chequearse que la segunda derivada es menos que cero).

B (e) es máximo:

$$\forall e / \frac{\partial B'(e)}{\partial e} = 0$$

Siendo “e” el aumento óptimo del grosor resultando el máximo beneficio.

En nuestro caso, el “Ingreso” se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$I(e) = \Delta\Sigma \times P_{\text{energía}}$$

Siendo:

$\Delta\Sigma$ : Aumento de la energía ahorrada como resultado del aumento en “e” cm del grosor del aislamiento sobre el mínimo necesario para satisfacer los requerimientos establecidos por el CTE para el valor de U.

$P_{\text{energía}}$ : Precio medio de la energía durante el tiempo equivalente a la vida del aislamiento.

Y los “Gastos” vienen expresados en la siguiente fórmula:

$$G(e) = Ct_{\text{aislamiento}} \times \text{Anualidad} \times Fc$$

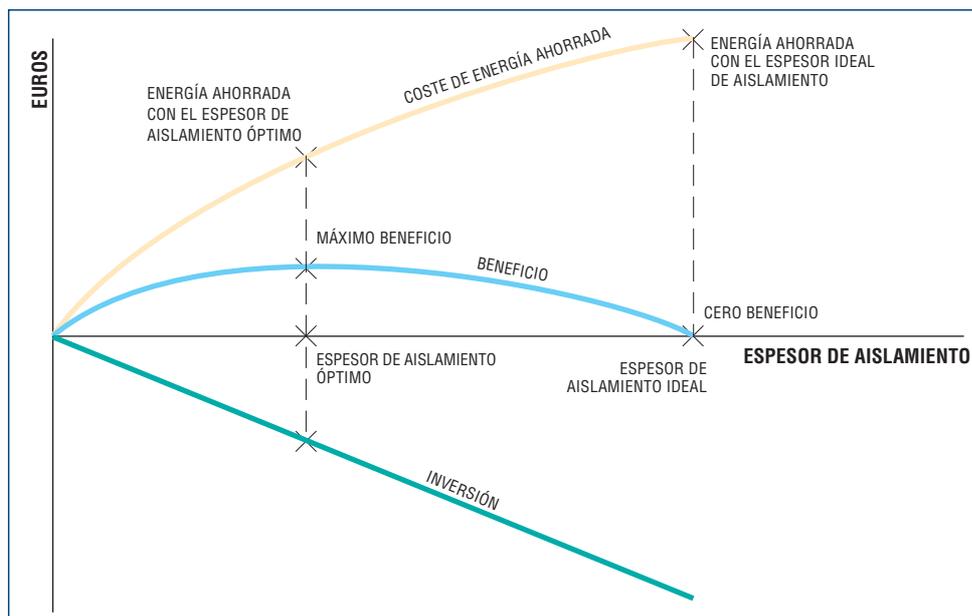
$Ct_{\text{aislamiento}}$  = Coste Aislamiento + Gastos generales + Beneficio industrial + Impuestos

Anualidad se expresa como:

$$\text{Anualidad} = \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1}$$

i = Ratio de interés  
n = Vida del aislamiento  
Fc = Factor de conversión. (1)

Figura 4: Ideal y óptimo espesor de aislamiento

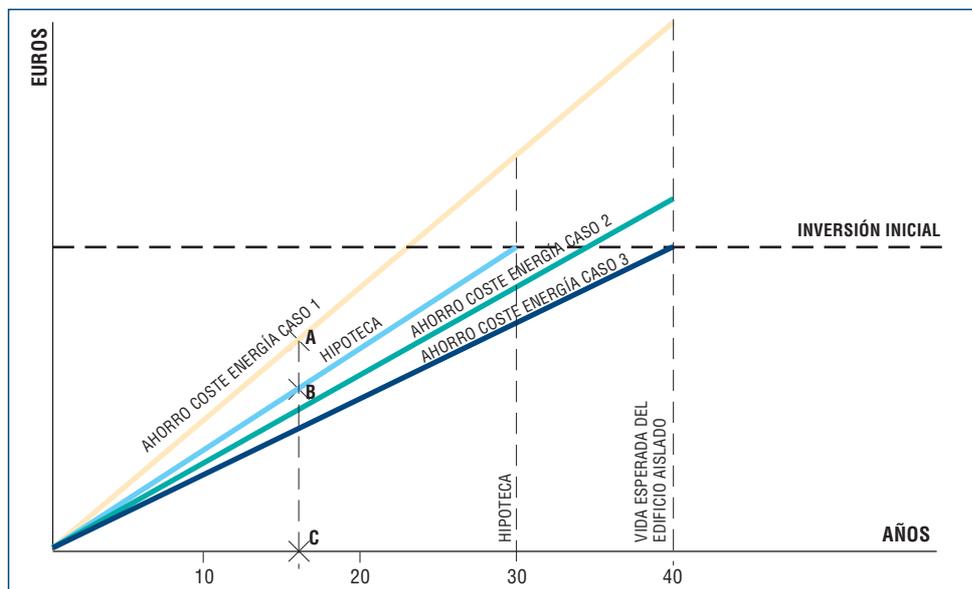


### 2-3 Amortización

Cuando se habla en el estudio de amortización, nos estamos refiriendo al número de años en que los “costes de energía ahorrada” igualarán a la inversión inicial realizada. Para el estudio realizado se ha considerado un periodo de amortización del aislamiento de 40 años, estimando que es el tiempo que tarda un edificio en ser rehabilitado integralmente y el momento en que posiblemente, se mejore o cambie el aislamiento de la envolvente a pesar de que éste pudiera encontrarse en buenas condiciones.

Independientemente del tiempo de uso del aislamiento sin ser modificado, existe el concepto del tiempo de hipoteca. Cuando se compra una casa se solicita una hipoteca, que establece el número de años que tardará en devolverse el préstamo. Si estimamos que el tiempo de hipoteca del aislamiento incluido en la vivienda es de 30 años, podemos realizar la siguiente gráfica simplificada (suponiendo que tanto los “costes de energía ahorrados” como los “costes de la hipoteca” siguen una tendencia lineal):

Figura 5: Amortizaciones



En esta gráfica se han representado 3 casos:

- **Caso 1:** Se corresponde con el caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento antes de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años). Esto significa, que para cada año transcurrido, la diferencia entre los ahorros en el coste de la energía (A) y el coste de la hipoteca (B) es siempre positivo, por lo que desde el primer año, se estarían obteniendo beneficios.
- **Caso 2:** Se corresponde con un caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento después de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años) pero antes de que expire el “lifetime” del mismo. En este caso los beneficios económicos se comenzarán a recibir en el momento que los ahorros en el coste de la energía iguallen la inversión inicial, pero año tras año no se ganará dinero, como en el caso 1.
- **Caso 3:** Se corresponde con un caso en el que se generan unos ahorros en el coste de la energía, que hacen que se amortice la inversión inicial en aislamiento después de que transcurra el tiempo de hipoteca (en este caso 30 años) y justo en el “lifetime” del aislamiento que se ha considerado (en este caso 40 años). Significa que al cabo de 40 años, se recuperará la inversión inicial, que ni se perderá ni ganará dinero, y que año tras año no se ganará dinero, como ocurría en el caso 1.

## 2-4 Requerimientos del CTE para cada zona climática

Los modelos de edificios usados en el E4 cumplen con las características de aislamiento térmico requeridas por el CTE para las zonas climáticas B4, D3, y E1. y son las mismas que se usan en el presente estudio. Adaptar los edificios de referencia a los requerimientos del CTE para cada una del resto de las zonas climáticas ha requerido solamente adaptar el espesor de aislamiento al valor U de transmitancia requerido en cada zona climática.

**Tabla 5:** Valor U para cada una de las diferentes zonas climáticas

Zonas climáticas	Valores U (W/m²K)		
	Fachadas	Cubiertas	Superficies en contacto con espacios calefactados
A3 - Málaga	0,94	0,50	0,94
A4 - Almería	0,94	0,50	0,94
B3 - Valencia	0,82	0,45	0,82
B4 - Sevilla	0,82	0,45	0,82
C1 - A Coruña	0,73	0,41	0,73
C2 - Barcelona	0,73	0,41	0,73
C3 - Granada	0,73	0,41	0,73
C4 - Cáceres	0,73	0,41	0,73
D1 - Pamplona	0,66	0,38	0,66
D2 - Valladolid	0,66	0,38	0,66
D3 - Madrid	0,66	0,38	0,66
E1 - Burgos	0,57	0,36	0,57

(\*) De acuerdo con el criterio empleado en los modelos del documento E4, los valores de transmitancia U, usados para el área en contacto con espacios no calefaccionados serán los mismos que los empleados en las fachadas.

Para cumplir con los requerimientos del CTE en los modelos constructivos definidos en el E4 los espesores en fachadas y cubiertas son los siguientes:

**Tabla 6:** Total espesor de aislamiento por zonas climáticas

Zonas climáticas	Total espesor aislamiento (cm)		
	Fachadas	Cubiertas	Superficies en contacto con espacios no calefactados
A3 - Málaga	3,0	6,0	2,5
A4 - Almería	3,0	6,0	2,5
B3 - Valencia	3,5	6,6	3,5
B4 - Sevilla	3,5	6,6	3,5
C1 - A Coruña	4,3	7,5	3,8
C2 - Barcelona	4,3	7,5	3,8
C3 - Granada	4,3	7,5	3,8
C4 - Cáceres	4,3	7,5	3,8
D1 - Pamplona	4,7	8,3	4,1
D2 - Valladolid	4,7	8,3	4,1
D3 - Madrid	4,7	8,3	4,1
E1 - Burgos	5,8	9,3	5,1

### Ventanas

En relación a las ventanas, se ha optado por los mismos valores que en los modelos del E4.

**Tabla 7:** Valor U y factor solar para viviendas unifamiliares y en bloque

Zonas climáticas	Vivienda Familiar		Bloque de Viviendas	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	Factor Solar	U (W/m <sup>2</sup> K)	Factor Solar
A3 - Málaga	3,00	0,72	3,40	0,55
A4 - Almería	3,00	0,72	3,40	0,55
B3 - Valencia	3,00	0,72	3,40	0,55
B4 - Sevilla	3,00	0,72	3,40	0,55
C1 - A Coruña	2,50	0,72	3,00	0,72
C2 - Barcelona	2,50	0,72	3,00	0,72
C3 - Granada	2,70	0,72	3,20	0,72
C4 - Cáceres	2,70	0,72	3,20	0,72
D1 - Pamplona	2,20	0,72	2,70	0,72
D2 - Valladolid	2,20	0,72	2,70	0,72
D3 - Madrid	2,20	0,72	2,70	0,72
E1 - Burgos	2,20	0,72	2,70	0,72

## 2-5 Valores óptimos de aislamiento obtenidos y selección final

Con los modelos de cálculo y los parámetros mencionados anteriormente, se ha desarrollado un análisis óptimo del grosor del aislamiento y de la amortización, teniendo en cuenta las siguientes variables:

#### — Tipo de vivienda:

- Vivienda individual
- Bloque de viviendas

#### — Zona climática:

- Burgos E1
- Madrid D3
- Sevilla B4

**2-6 Espesor óptimo de aislamiento adicional**

En la siguiente tabla se resume el aumento óptimo de aislamiento para cada caso considerado. Este aumento óptimo del grosor refleja únicamente el grosor del aislamiento que hace que la función “Beneficio económico” sea máxima, independientemente del periodo de amortización de la inversión inicial, considerando el siguiente escenario:

- Precio del aislamiento: 36 €/m<sup>3</sup>
- Ratio de incremento anual del precio de la energía 1,5%

**Tabla 8: Espesor óptimo de aislamiento adicional**

Zonas Climáticas	Viviendas Individuales	Bloques de Viviendas
B4	5,02	6,83
D3	9,16	8,32
E1	13,27	14,21

Elegir un grosor adicional óptimo de aislamiento es una tarea complicada, especialmente teniendo en cuenta la situación real en España:

- La realidad de la edificación en España es que se considera un coste extra equivalente al área perdida por el aumento del aislamiento. No aumentarlo podría ser económicamente defendible. Esto no debería aplicarse al aislamiento del tejado, ya que no hay pérdida de espacio al aumentar el aislamiento de los tejados.

- El hecho en España es que no se instala una gran cantidad de aislamiento en nuevas edificaciones si lo comparamos con los países del norte de Europa. Por lo tanto, el óptimo matemático obtenido parece ser un poco alto comparado con los grosores que se están instalando en la actualidad en España.

Sin embargo, cualquier “aislamiento óptimo” diferente del óptimo matemático, será siempre una decisión subjetiva.

Por esto desde nuestro punto de vista, debería elegirse un valor cercano a los valores óptimos con la fórmula. Cualquier otra consideración será difícil de justificar.

Por otro lado, considerar el óptimo matemático significaría tener dos escenarios extremos: en un extremo estaría el escenario E4 y en el otro extremo el escenario ideal. Aunque el ideal no sería un escenario alcanzable en la actualidad, esto significaría conocer cuál es el aislamiento potencial (para los modelos usados y para las consideraciones realizadas en este estudio) y serviría como punto objetivo.

Debido a las razones mencionadas, el aumento de aislamiento propuesto está cerca de los valores de aislamiento óptimo obtenidos para el modelo de una vivienda individual. (Se propone el aislamiento óptimo obtenido para el modelo de una vivienda individual y no el obtenido para un bloque de viviendas continuando en la línea conservativa seguida en el resto del estudio). El aislamiento adicional propuesto es:

**Tabla 9: Espesor adicional**

Aislamiento Adicional	
Zonas Climáticas	Espesores propuestos
B4	5,00
D3	9,00
E1	13,00

## 2-7 Espesores óptimos para cada zona climática

Una vez se ha obtenido el aumento óptimo de aislamiento para cada zona climática de referencia (B4, D3 y E1) es necesario decidir una valor óptimo para el resto de zonas climáticas.

Para estar en consonancia con el criterio del CTE, se ha propuesto agrupar las zonas climáticas siguiendo los requerimientos del CTE para el valor de U que ya tiene en cuenta la severidad del clima para cada zona.

Siguiendo este criterio, se han realizado los siguientes grupos:

- A3 (Málaga), A4 (Almería) y B3 (Valencia), se simularán con el aislante óptimo obtenido para B4 (Sevilla)
- C1 (A Coruña), C2 (Barcelona), C3 (Granada), C4 (Cáceres), D1 (Pamplona) y D2 (Valladolid) se simularán con el aislante óptimo definido para D3 (Madrid)
- E1 con su propio aislante óptimo.

Adoptar este criterio está en línea con el criterio del CTE relacionado con el criterio climático, los valores de U y el correspondiente grosor de aislamiento, como puede observarse en la tabla de abajo donde se han representado el aislamiento total necesario para alcanzar los valores del CTE y los valores de U.

Además, la tabla incluye el aumento óptimo de aislamiento (cm), y el correspondiente valor de U para la nueva definición de edificación. El aislamiento total se ha redondeado para la simulación para obtener grosores de aislamiento comerciales.

**Tabla 10:** Espesores adicionales y totales por zonas climáticas

Zonas Climáticas	CTE				CTE-PLUS Óptimo propuesto						Total Aislamiento (cm) Óptimo propuesto	
	Fachadas		Cubiertas		Fachadas			Cubiertas			Fachadas	Cubiertas
	Aislamiento (cm)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	Aislamiento (cm)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	Adicional (cm)	Total (cm)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	Adicional (cm)	Total (cm)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)	(cm)	(cm)
A3 - Málaga	3,00	0,94	6,00	0,50	5,00	8,00	0,45	5,00	11,00	0,27	8,00	11,00
A4 - Almería	3,00	0,94	6,00	0,50	5,00	8,00	0,45	5,00	11,00	0,27	8,00	11,00
B3 - Valencia	3,50	0,82	6,60	0,45	5,00	8,50	0,42	5,00	11,60	0,26	9,00	12,00
B4 - Sevilla	3,50	0,82	6,60	0,45	5,00	8,50	0,42	5,00	11,60	0,26	9,00	12,00
C1 - A Coruña	4,30	0,73	7,50	0,41	9,00	13,30	0,29	9,00	16,50	0,22	13,00	17,00
C2 - Barcelona	4,30	0,73	7,50	0,41	9,00	13,30	0,29	9,00	16,50	0,22	13,00	17,00
C3 - Granada	4,30	0,73	7,50	0,41	9,00	13,30	0,29	9,00	16,50	0,22	13,00	17,00
C4 - Cáceres	4,30	0,73	7,50	0,41	9,00	13,30	0,29	9,00	16,50	0,22	13,00	17,00
D1 - Pamplona	4,70	0,66	8,30	0,38	9,00	13,70	0,28	9,00	17,30	0,21	14,00	17,00
D2 - Valladolid	4,70	0,66	8,30	0,38	9,00	13,70	0,28	9,00	17,30	0,21	14,00	17,00
D3 - Madrid	4,70	0,66	8,30	0,38	9,00	13,70	0,28	9,00	17,30	0,21	14,00	17,00
E1 - Burgos	5,80	0,57	9,30	0,36	13,00	18,80	0,21	13,00	22,30	0,17	19,00	22,00

### 3-1 Introducción

En el presente capítulo se incluyen los resultados de consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos en las simulaciones de los modelos del E4 (vivienda individual y bloque de viviendas), considerando dos escenarios diferentes:

- **Escenario CTE:** Cálculo del consumo de energía de dos tipos de modelos de edificios con un grosor del aislamiento que satisface los requerimientos del CTE-HE1
- **Escenario CTE-PLUS:** Cálculo del consumo de energía de dos tipos de modelos de edificios con el espesor óptimo de aislamiento.

Ambos escenarios se han simulado en todas las zonas climáticas. El año meteorológico típico utilizado en las simulaciones para cada zona climática, corresponde al año meteorológico típico de la ciudad seleccionada para cada zona climática.

### 3-2 Parámetros utilizados

#### 3.2.1 Valores del aislamiento utilizados en el “Escenario CTE”

Como se ha comentado antes, el “CTE” está basado en los requerimientos del CTE. En la siguiente tabla se muestran los grosores de aislamiento utilizados para cada zona climática.

**Tabla 11:** Valores del aislamiento utilizados en el CTE

Zonas Climáticas	CTE			
	Espesores necesarios (cm) para cumplir el valor U según el CTE			
	Fachadas		Cubiertas	
	Aislamiento (cm)	valor U (W/m <sup>2</sup> K)	Aislamiento (cm)	valor U (W/m <sup>2</sup> K)
A3 - Málaga	3,00	0,94	6,00	0,50
A4 - Almería	3,00	0,94	6,00	0,50
B3 - Valencia	3,50	0,82	6,60	0,45
B4 - Sevilla	3,50	0,82	6,60	0,45
C1 - A Coruña	4,30	0,73	7,50	0,41
C2 - Barcelona	4,30	0,73	7,50	0,41
C3 - Granada	4,30	0,73	7,50	0,41
C4 - Cáceres	4,30	0,73	7,50	0,41
D1 - Pamplona	4,70	0,66	8,30	0,38
D2 - Valladolid	4,70	0,66	8,30	0,38
D3 - Madrid	4,70	0,66	8,30	0,38
E1 - Burgos	5,80	0,57	9,30	0,36

### 3.2.2 Valores del aislamiento utilizados en el “CTE-PLUS”

El escenario CTE-PLUS incluye el espesor de aislamiento “óptimo”, los valores se muestran en la tabla siguiente, donde se indican los espesores de aislamiento utilizados en las simulaciones para cada zona climática. Para obtener el consumo de energía de cada tipo de edificios para cada zona climática se utilizó el programa CALENER 2.02.

**Tabla 12:** Valores del aislamiento utilizados en el CTE-PLUS

Zonas Climáticas	CTE-PLUS			
	Espesores necesarios (cm) para cumplir el valor U según el CTE			
	Fachadas		Cubiertas	
	Aislamiento (cm)	valor U (W/m <sup>2</sup> K)	Aislamiento (cm)	valor U (W/m <sup>2</sup> K)
A3 - Málaga	8,00	0,45	11,00	0,31
A4 - Almería	8,00	0,45	11,00	0,31
B3 - Valencia	9,00	0,40	12,00	0,29
B4 - Sevilla	9,00	0,40	12,00	0,29
C1 - A Coruña	13,00	0,29	17,00	0,22
C2 - Barcelona	13,00	0,29	17,00	0,22
C3 - Granada	13,00	0,29	17,00	0,22
C4 - Cáceres	13,00	0,29	17,00	0,22
D1 - Pamplona	14,00	0,28	17,00	0,22
D2 - Valladolid	14,00	0,28	17,00	0,22
D3 - Madrid	14,00	0,28	17,00	0,22
E1 - Burgos	19,00	0,21	22,00	0,17

### 3-3 Resultados

En las siguientes tablas se pueden observar los resultados de las simulaciones realizadas de consumo de energía.

#### 3.3.1 Vivienda individual

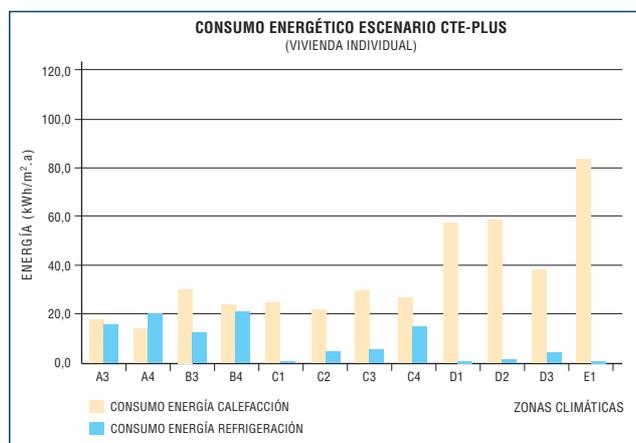
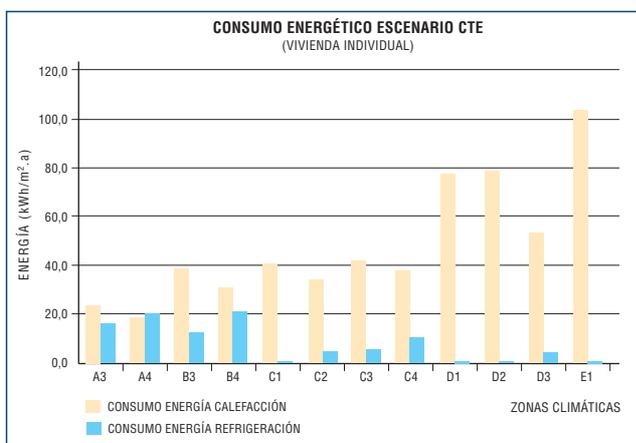
##### a. Consumo de energía para cada escenario considerado

En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía de calentamiento y de enfriamiento para el modelo de una vivienda individual para cada zona climática.

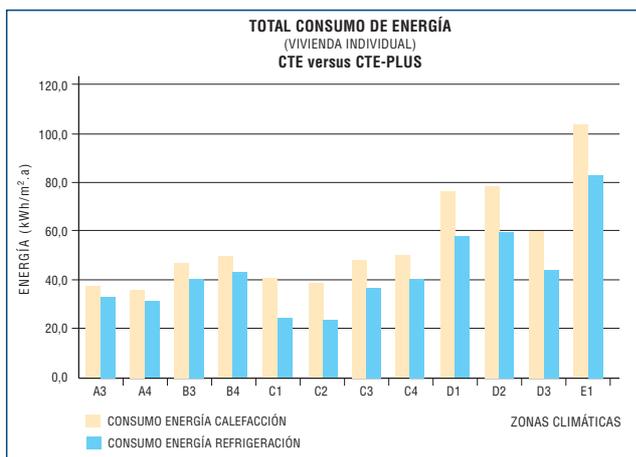
Tabla 13: Vivienda individual

Zonas climáticas	Consumo de Energía (W/m <sup>2</sup> K)					
	Escenario CTE			Escenario CTE-PLUS		
	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
A3	23,5	14,5	37,9	17,1	14,6	31,7
A4	18,5	19,5	38,0	13,0	19,6	32,6
B3	38,5	10,1	48,6	30,1	10,1	40,2
B4	30,0	21,0	51,0	23,2	20,8	44,0
C1	40,3	0,20	40,6	26,4	0,40	26,8
C2	33,9	5,00	38,9	22,2	5,30	27,5
C3	42,0	6,70	48,7	28,4	6,70	35,1
C4	37,2	13,5	50,8	25,4	13,6	38,9
D1	78,0	0,20	78,2	59,8	0,30	60,1
D2	80,2	0,80	81,0	61,6	0,80	62,4
D3	53,6	5,70	59,3	38,8	5,80	44,6
E1	107,1	0,10	107,1	84,2	0,10	84,3

Mostrando los resultados obtenidos en gráficos, se obtienen las siguientes figuras:



En la siguiente gráfica se comparan los consumos de energía de los dos escenarios considerados:



b. Ahorros energéticos entre escenarios

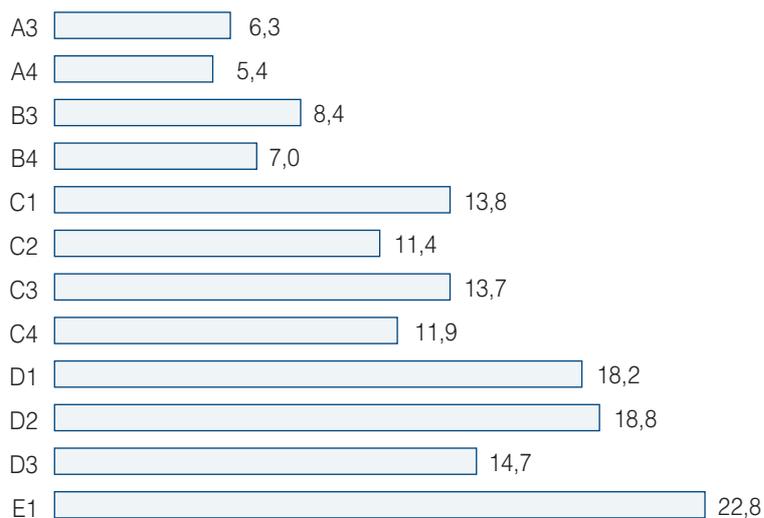
En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía total de una vivienda individual para cada una de las doce zonas climáticas y los ahorros obtenidos entre escenarios

Tabla 14: Ahorros energéticos entre escenarios

Zonas climáticas	Viviendas individuales			
	CONSUMO DE ENERGÍA		AHORRO ENERGÍA (kWh/m <sup>2</sup> .a)	AHORRO ENERGÍA (%)
	CTE	CTE-PLUS		
A3	37,9	31,7	6,3	16,6%
A4	38,0	32,6	5,4	14,1%
B3	48,6	40,2	8,4	17,3%
B4	51,0	44,0	7,0	13,7%
C1	40,6	26,8	13,8	34,0%
C2	38,9	27,5	11,4	29,2%
C3	49,7	36,0	13,7	27,5%
C4	51,6	39,7	11,9	23,0%
D1	76,0	57,8	18,2	24,0%
D2	78,8	60,0	18,8	23,8%
D3	59,3	44,6	14,7	24,8%
E1	107,1	84,3	22,8	21,3%

La siguiente imagen muestra gráficamente los datos de la tabla anterior.

Ahorro energético debido al cambio de escenario (Vivienda individual) (kWh/m<sup>2</sup>a)



3.3.2 Bloque de viviendas

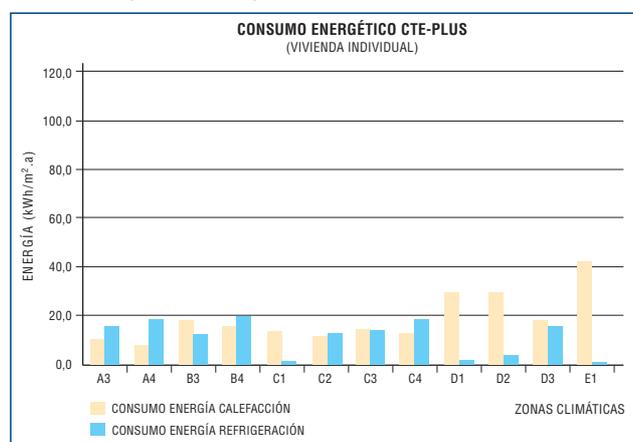
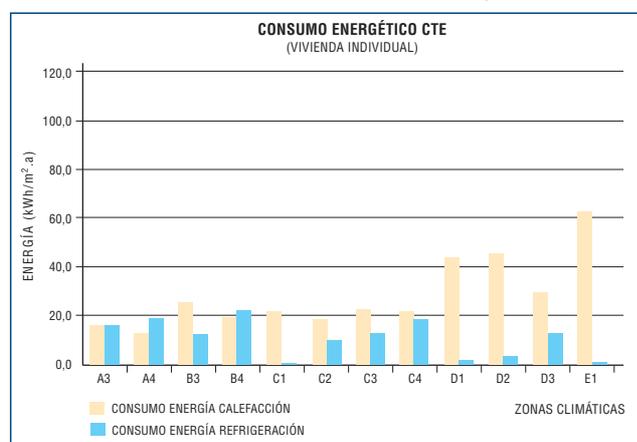
c. Consumo de energía para cada escenario considerado

En la siguiente tabla se incluye el consumo de energía de calentamiento y de enfriamiento de un bloque de viviendas para cada zona climática.

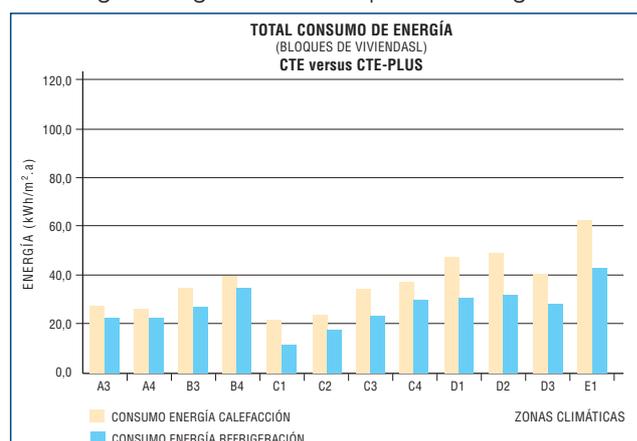
Tabla 15: Bloque de viviendas

Zonas climáticas	Consumo de Energía (W/m <sup>2</sup> K)					
	CTE			CTE-PLUS		
	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
A3	14,5	14,6	29,0	8,7	14,3	23,0
A4	10,7	18,2	28,9	6,1	17,7	23,9
B3	25,7	9,6	35,3	17,6	9,4	27,0
B4	19,4	20,8	40,2	13,1	20,0	33,1
C1	21,2	0,9	22,0	10,4	1,8	12,2
C2	17,9	8,4	26,3	8,1	9,7	17,8
C3	22,7	11,4	34,0	12,1	12,2	24,3
C4	21,3	17,5	38,8	11,4	18,3	29,7
D1	45,1	1,4	46,5	28,7	2,0	30,7
D2	46,2	3,3	49,4	29,8	4,0	33,8
D3	29,9	10,3	40,2	17,4	11,4	28,8
E1	64,4	0,3	64,7	42,6	0,8	43,4

Mostrando los resultados obtenidos en gráficos, se obtienen las siguientes figuras:



En la siguiente gráfica se compara la energía total consumida entre los dos escenarios considerados:



**d. Ahorros energéticos entre escenarios**

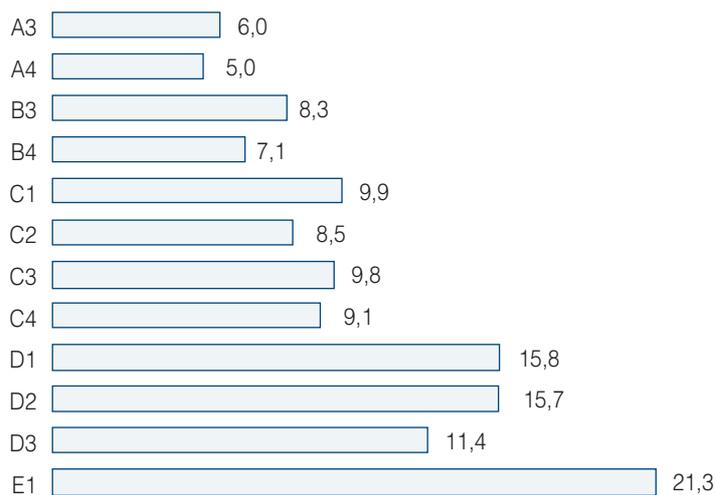
La siguiente tabla resume la energía total consumida de un bloque de viviendas para cada una de las doce zonas climáticas y los ahorros obtenidos entre los escenarios CTE y CTE-PLUS.

**Tabla 16: Ahorros energéticos entre escenarios**

Zonas climáticas	Bloque de viviendas			
	CONSUMO DE ENERGÍA		AHORRO ENERGÍA (kWh/m <sup>2</sup> .a)	AHORRO ENERGÍA (%)
	CTE	CTE-PLUS		
A3	29,0	23,0	6,0	20,7%
A4	28,9	23,9	5,0	17,4%
B3	35,3	27,0	8,3	23,5%
B4	40,2	33,1	7,1	17,8%
C1	22,0	12,2	9,9	44,8%
C2	26,3	17,8	8,5	32,4%
C3	34,0	24,3	9,8	28,7%
C4	38,8	29,7	9,1	23,5%
D1	46,5	30,7	15,8	33,9%
D2	49,4	33,8	15,7	31,7%
D3	40,2	28,8	11,4	28,5%
E1	64,7	43,4	21,3	32,9%

La siguiente imagen muestra gráficamente los datos de la tabla anterior.

**Ahorro energético debido al cambio de escenario (Bloque de viviendas) (kWh/m<sup>2</sup>a)**



**3-4 Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub>**

En las siguientes tablas se muestran los resultados anuales obtenidos para cada zona climática, incluyendo los ahorros energéticos, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el total nacional.

**Tabla 17: Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub>. Viviendas individuales**

			VIVIENDAS INDIVIDUALES					
			CTE		CTE-PLUS		AHORRO ENERGIA ANUAL (2012)	
Zonas climáticas	Área total 2005-2012 (m <sup>2</sup> )	Área total acondicionada (m <sup>2</sup> )	Consumo área total (GW/h)	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )
A3	18.588.544	7.717.964	451	167.268	403	158.292	48	8.976
A4	3.205.352	1.330.862	87,1	35307,9	80,2	34024,6	6,9	1.283,3
B3	28.266.361	11.736.193	737	228.628	638	208.872	99	19.756
B4	22.990.806	9.545.783	769	291.964	700	276.576	70	15.387
C1	8.938.324	3.711.192	152	30.873	101	21.214	50	9.659
C2	16.932.036	7.030.181	318	84.675	239	70.314	79	14.362
C3	4.947.856	2.054.350	121,3	33667,0	93,1	27912,9	28,3	5.754,1
C4	18.247.700	7.576.445	534	177.061	444	158.923	90	18.138
D1	4.565.965	1.895.789	145	29.227	110	22.526	34	6.701
D2	10.664.959	4.428.091	354	73.241	271	56.913	83	16.328
D3	26.339.083	10.935.987	736	190.189	577	159.226	159	30.964
E1								
TOTAL NACIONAL	5.029.114	2.088.088	224	44.837	176	35.445	47	9.392

**Tabla 18: Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> Bloque de viviendas**

			BLOQUE DE VIVIENDAS					
			CTE		CTE-PLUS		AHORRO ENERGIA ANUAL (2012)	
Zonas climáticas	Área total 2005-2012 (m <sup>2</sup> )	Área total acondicionada (m <sup>2</sup> )	Consumo área total (GW/h)	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )
A3	38.358.614	15.926.497	788,5	317.397	686,4	293.833	102,1	23.564
A4	8.476.699	3.519.525	191,7	82.388,5	171,9	77.397,3	19,8	4.991,3
B3	51.589.852	21.420.106	1.044,2	350.250	860,8	310.648	183,5	39.602
B4	33.954.925	14.098.085	980,2	398.180	862,4	366.230	117,8	31.950
C1	28.273.399	11.739.115	272,9	61.556	171,9	48.581	101,1	12.974
C2	35.176.443	14.605.259	556,5	195.745	459,0	189.355	97,5	6.391
C3	5.314.246	2.206.475	110,4	39.334,8	91,3	36.735,8	19,1	2.598,9
C4	13.736.665	5.703.463	362,3	141.306	316,5	135.152	45,8	6.154
D1	7.975.149	3.311.282	160,3	35.174	111,2	26.887	49,1	8.288
D2	16.053.778	6.665.529	360,1	86.942	262,4	70.739	97,7	16.203
D3	43.696.885	18.142.946	992,4	327.183	812,4	304.667	179,9	22.516
E1	7.293.527	3.028.273	197,2	40.087	134,7	28.574	62,5	11.514
TOTAL NACIONAL	289.900.181	120.366.555	6.017	2.075.544	4.941	1.888.789	1.076	186.746

*Tabla 19: Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> Total de viviendas*

			TOTAL DE VIVIENDAS					
			CTE		CTE-PLUS		AHORRO ENERGIA ANUAL (2012)	
Zonas climáticas	Área total 2005-2012 (m <sup>2</sup> )	Área total acondicionada (m <sup>2</sup> )	Consumo área total (GW/h)	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )	Total anual de emisiones ahorradas (t.CO <sub>2</sub> )
A3	56.947.158	23.644.460	1.239	484.665,0	1.090	452.124,9	150	32.540,0
A4	11.682.051	4.850.388	279	117.696,4	252	111.421,8	27	6.274,6
B3	79.856.213	33.156.299	1.781	578.878,0	1.498	519.520,4	282	59.357,5
B4	56.945.730	23.643.867	1.749	690.143,6	1.562	642.806,2	188	47.337,4
C1	30.425.411	12.632.631	309	68.988,6	196	53.689,0	113	15.299,7
C2	52.108.478	21.635.440	874	280.420,7	698	259.668,3	177	20.752,4
C3	10.262.102	4.260.825	232	73.001,8	184	64.648,7	47	8.353,1
C4	31.984.364	13.279.908	897	318.366,9	761	294.075,5	136	24.291,4
D1	12.541.114	5.207.070	305	64.400,8	222	49.412,2	83	14.988,6
D2	26.718.737	11.093.620	714	160.182,5	534	127.651,5	180	32.530,9
D3	70.035.968	29.078.934	1.729	517.372,7	1.390	463.893,1	339	53.479,6
E1	12.322.642	5.116.361	421	84.924,5	311	64.018,8	110	20.905,8
TOTAL NACIONAL	458.616.279	190.417.479	10.645	3.462.481	8.774	3.119.037	1.870	343.444

## 3-5 Ahorros energéticos anuales (2005-2012) y total acumulado

En la siguiente tabla se muestran los ahorros energéticos anuales obtenidos para ambas tipologías desde el 2005 hasta el 2012 a nivel nacional.

**Tabla 20:** Resultados ahorros energéticos anuales y total acumulado

TOTAL AHORRO DE ENERGÍA ANUAL (GWh)									
	2.005	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	
2.005	337,3	337,3	337,3	337,3	337,3	337,3	337,3	337,3	337,3
2.006		290,1	290,1	290,1	290,1	290,1	290,1	290,1	290,1
2.007			264,0	264,0	264,0	264,0	264,0	264,0	264,0
2.008				245,5	245,5	245,5	245,5	245,5	245,5
2.009					238,1	238,1	238,1	238,1	238,1
2.010						233,3	233,3	233,3	233,3
2.011							228,7	228,7	228,7
2.012								224,1	224,1
TOTAL NACIONAL	337,3	627,3	891,3	1.136,8	1.374,9	1.608,2	1.836,9	2.061,0	9.873,6

Las viviendas construidas en el período 2005 - 2012 tienen un potencial para ahorrar más de 88.000 GWh hasta el año 2050.

3-6 Emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (2005 - 2012) y total acumulado

En la siguiente tabla se muestran los ahorros energéticos anuales de emisiones de CO<sub>2</sub> obtenidos para ambas tipologías desde el 2005 hasta el 2012 y los totales acumulados, a nivel nacional.

**Tabla 21:** Resultados anuales de CO<sub>2</sub> y total acumulado

TOTAL EMISIONES ANUALES (tCO <sub>2</sub> )									
	2.005	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	
2.005	65.158	65.158	65.158	65.158	65.158	65.158	65.158	65.158	65.158
2.006		56.036	56.036	56.036	56.036	56.036	56.036	56.036	56.036
2.007			50.993	50.993	50.993	50.993	50.993	50.993	50.993
2.008				47.424	47.424	47.424	47.424	47.424	47.424
2.009					46.001	46.001	46.001	46.001	46.001
2.010						46.081	46.081	46.081	46.081
2.011							44.179	44.179	44.179
2.012								43.296	43.296
TOTAL NACIONAL	65.158	121.195	172.188	219.611	265.612	310.693	354.872	398.168	1.907.497

Las viviendas construidas en el período 2005 - 2012 tienen un potencial para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en más de 17 millones de Tm.

Las simulaciones realizadas muestran el importante potencial de ahorro energético disponible para los edificios adquiridos incrementando los espesores previstos en el CTE, con el añadido del correspondiente incremento de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las simulaciones demuestran que incrementando el espesor del aislamiento en 5, 9 y 13 cm sobre lo requerido en el CTE, y dependiendo de la zona climática, el ahorro energético acumulado es de ~10 TWh (9873 GWh) para las nuevas viviendas construidas en España en el periodo 2006 – 2012. Asimismo la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es de 2 Millones de Tm en el mismo periodo.

En estos cálculos no se ha tenido en cuenta el enorme mercado que representa la rehabilitación del parque de viviendas existente, ni tampoco los edificios del sector terciario.

Los resultados del estudio están lógicamente influenciados por los parámetros usados, que son el precio del aislamiento incluyendo la mano de obra, el precio de la energía, el precio de la penalización por Tm de CO<sub>2</sub> emitida, los modelos de viviendas empleados (en este caso los mismos que en el E4), y especialmente, el precio de la energía que tiene un importante impacto en el “óptimo” espesor de aislamiento. En este estudio, el precio de la energía son los correspondientes a 2004, con un incremento anual del 1,5%, que consideramos conservativo dado lo volátil que es este parámetro en la actual coyuntura del mercado energético.

**Calefacción versus refrigeración:** El estudio demuestra que aquí se encuentra el mayor potencial de ahorro energético incrementando los espesores por encima de los indicados en el CTE. Los mayores ahorros se obtienen en los periodos de calefacción mientras que en los periodos de refrigeración los ahorros son menores. En este estudio no se ha investigado la influencia de la especificación de los modelos E4 utilizados en los resultados obtenidos.

— **Ahorro energético en función de la tipología de edificio:** El ahorro energético obtenido por m<sup>2</sup> en las viviendas aisladas son mayores que los obtenidos en los bloques de viviendas. Una de las razones que justifican este resultado es que las viviendas unifamiliares tienen mayor área expuesta por m<sup>2</sup> que el bloque de viviendas y, por lo tanto, la influencia de los cambios en las características térmicas de los cerramientos es muy importante.

— **Ahorro energético en función de la zona climática:** El ahorro de energía obtenido según el escenario va del 13,7% mínimo al 44,8% como máximo. Las diferencias entre las zonas climáticas están relacionadas siempre con los datos climáticos correspondientes a las capitales de provincia, los modelos de cálculo del E4 y los diferentes requerimientos de severidad climática descritos en el CTE. Los mayores ahorros de energía los encontramos en la zona C1 tanto para viviendas unifamiliares como para bloques de pisos.

— **Valor de la energía ahorrada:** Dependiendo del precio base de energía utilizado y del incremento anual previsto, el valor óptimo varía. Si el precio de la energía se incrementa más que el 1,5% anual previsto en el presente estudio va a ser beneficioso para el comprador de la vivienda que disponga de un espesor de aislamiento propuesto.

— **Payback time:** El payback calculado para el incremento de espesor es de 30 años como plazo normal de amortización de una hipoteca. De manera que todos los casos se encuentran en la hipótesis 1 (ver punto 2.3) donde los beneficios se obtienen desde el primer día.

— **Extrapolación de resultados:** El ahorro potencial de una zona climática depende del potencial de ahorro de una vivienda y de la superficie construida.

Ejemplo: Si comparamos el resultado en Málaga (A3) y León (E1), podemos observar cómo en bloques de viviendas el ahorro potencial es mayor en León, (Bloque de vivienda 7,1 kWh/m<sup>2</sup>a en Málaga contra 21,3 kWh/m<sup>2</sup>a en León).

Sin embargo si los resultados los comparamos a nivel provincial, el resultado es el inverso: El ahorro potencial de la provincia de Málaga es mayor que el de la provincia de León, debido a las expectativas de construcción. El mayor potencial de ahorro se concentra en las Comunidades de Andalucía, Castilla y León, Cataluña y Valencia.

— **Emisiones de CO<sub>2</sub>:** La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> está directamente relacionada con la fuente de energía utilizada. En este estudio, y de acuerdo con lo descrito en el E4, se ha empleado gas para calefacción y electricidad para refrigeración. Si se hubiera empleado electricidad para calefacción (en el sur de España se utiliza frecuentemente bomba de calor), los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> y de ahorro de energía hubieran sido considerablemente diferentes. El mayor potencial de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran en las Comunidades de Andalucía, Valencia, Castilla León y Madrid.

— **Valor del CO<sub>2</sub> NO emitido:** El valor del CO<sub>2</sub> no emitido durante el periodo 2005 – 2012 es de 38 millones de € con un precio medio de 20€ por tCO<sub>2</sub>. Si comparamos el coste del incremento de espesor de aislamiento (en una vivienda unifamiliar) con la estimación del valor del CO<sub>2</sub> no emitido por esta vivienda durante 40 años a un precio de 20 € tCO<sub>2</sub>, el valor del CO<sub>2</sub> no emitido es el 32,8% de la inversión inicial en la provincia de Burgos, 30% en la provincia de Madrid, y el 27,4% en la provincia de Sevilla. Si el precio medio llegara a 40€ tCO<sub>2</sub>, en Burgos por ejemplo, el aumento será del 65% de la inversión inicial. Esto representa un ahorro considerable para la Comunidad por encima del ahorro energético para el consumidor.

Ahorrar energía quiere decir reducir las necesidades de suministro, en beneficio del medio ambiente es mejor reducir el consumo energético lo más posible y a continuación trabajar en el suministro de energías renovables.

## 1 Modelos de edificios adoptados por el E4

### 1-1 Introducción

Este anexo describe los modelos de vivienda individual y bloque de viviendas usados en el documento E4.

### 1-2 Descripción de los modelos

En las páginas siguientes se describen las viviendas individuales y los bloques de viviendas.

- Geometría, orientación y dimensiones
- Construcción y sombras
- Ganancias internas y ratios de ventilación
- Sistemas de calefacción y refrigeración

La única diferencia entre los dos modelos es la composición de las cubiertas.

Ambos modelos tienen las mismas ganancias internas, ratios de ventilación y sistema de refrigeración y calefacción.

#### 1.2.1 Descripción de los modelos

**Figura 6:** Modelo de vivienda individual

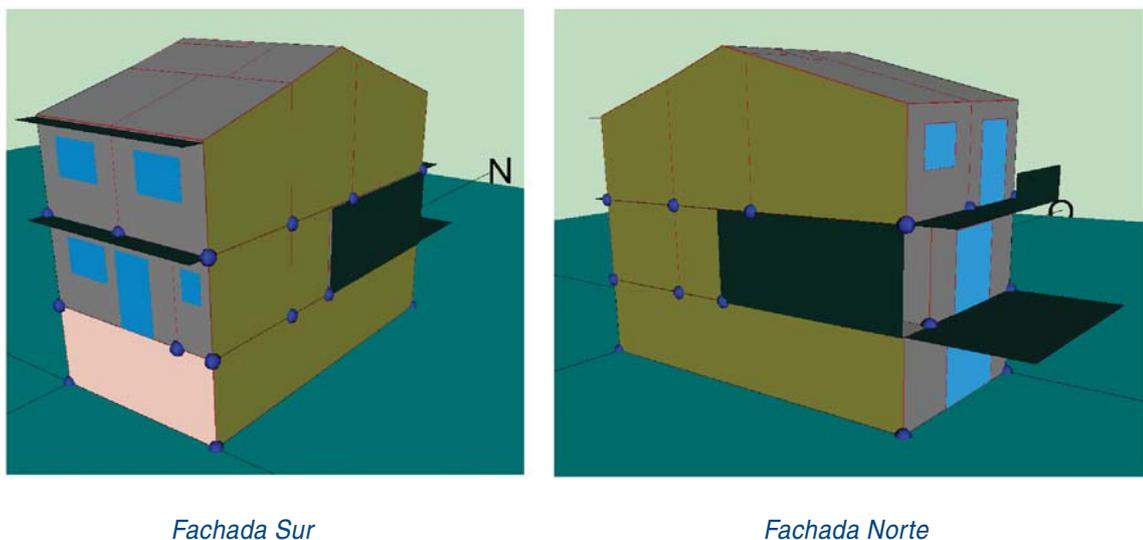


Figura 7: Plantas

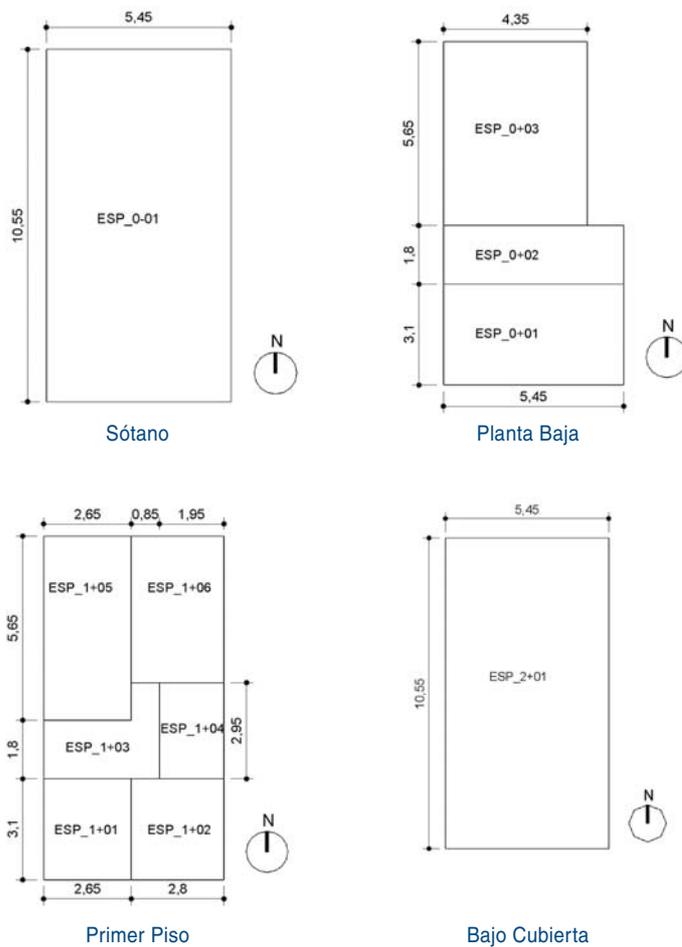
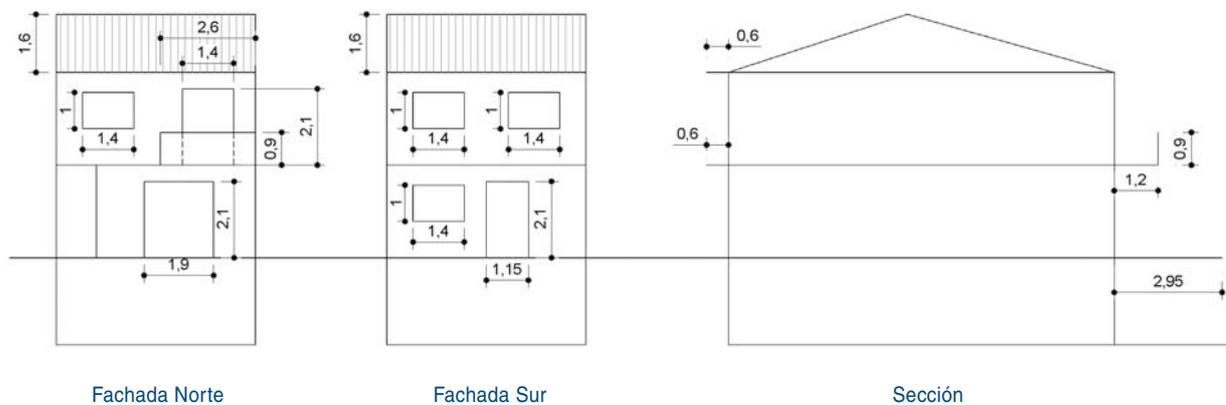


Figura 8: Fachadas



## ANEXO 2 - ZONAS CLIMÁTICAS POR PROVINCIAS

Tabla 36: Bloque de viviendas - CTE E1

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)
Albacete	D3	677
Alicante	B4	7
Almería	A4	0
Avila	E1	1054
Badajoz	C4	168
Barcelona	C2	1
Bilbao	C1	214
Burgos	E1	861
Cáceres	C4	385
Cádiz	A3	0
Castellón de la Plana	B3	18
Ceuta	B3	0
Ciudad Real	D3	630
Córdoba	B4	113
Coruña (a)	C1	0
Cuenca	D2	975
Donostia - San Sebastián	C1	5
Girona	C2	1353
Granada	C3	754
Guadalajara	D3	708
Huelva	B4	50
Huesca	D2	432
Jaén	C4	436
León	E1	346
Lleida	D3	131
Logroño	D2	379
Lugo	D1	412
Madrid	D3	589
Málaga	A3	0
Melilla	A3	130
Murcia	B3	25
Orense	C2	327
Oviedo	C1	214
Palencia	D1	722
Palma de Mallorca	B3	1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114
Pamplona	D1	456
Pontevedra	C1	77
Salamanca	D2	770
Santa Cruz de Tenerife	A3	0
Santander	C1	1
Segovia	D2	1013
Sevilla	B4	9
Soria	E1	984
Tarragona	B3	1
Teruel	D2	995
Toledo	C4	445
Valencia	B3	8
Valladolid	D2	704
Vitoria - Gasteiz	D1	512
Zamora	D2	617
Zaragoza	D3	207

MAPA NACIONAL DE ZONAS CLIMÁTICAS

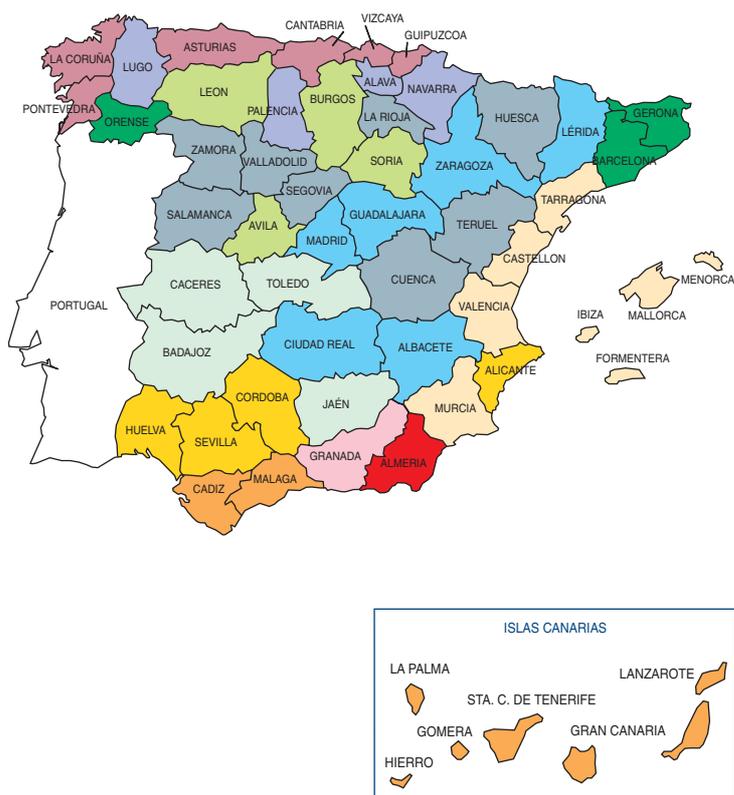


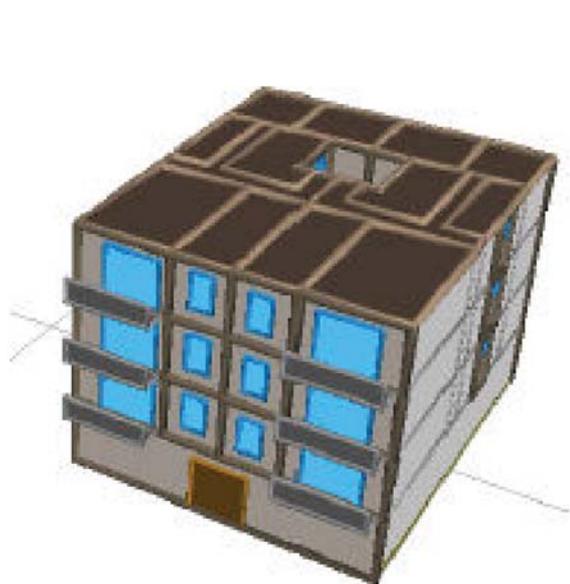
Figura 11: Mapa zonas climáticas

## ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

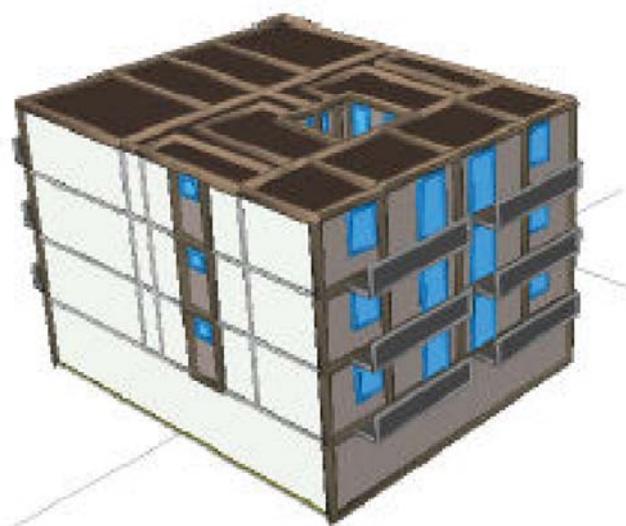
**Tabla 22:** Descripción de espacios en viviendas individuales

Piso	Espacio	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Acondicionado No Acondicionado	Descripción
Piso 0 -	0-01	57.50	2.40	NA	Sótano
Piso 0 +	0+01	16.90	2.55	NA	Cocina / Aseo
Piso 0 +	0+02	9.81	2.55	NA	Vestíbulo
Piso 0 +	0+03	24.58	2.55	A	Sala estar
Piso 1 +	1+01	8.25	2.55	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+02	8.68	2.55	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+03	7.28	2.55	NA	Distribuidor
Piso 1 +	1+04	5.75	2.55	NA	Aseo
Piso 1 +	1+05	14.97	2.55	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+06	12.60	2.55	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+01	57.50	0.80	NA	Bajo cubierta
<b>TOTAL</b>		<b>166.28</b>	<i>(sin tener en cuenta el bajo cubierta)</i>		

### 1.2.2 Geometría y orientación de los bloques de viviendas



*Fachada Este*



*Fachada Oeste*

Figura 9: Planta

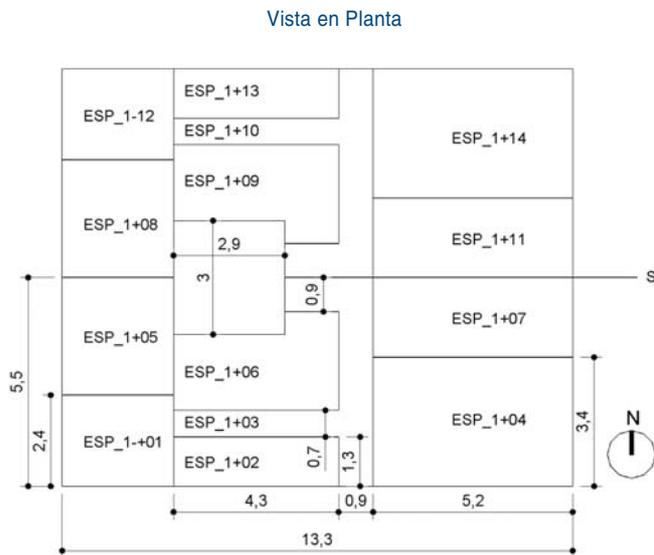
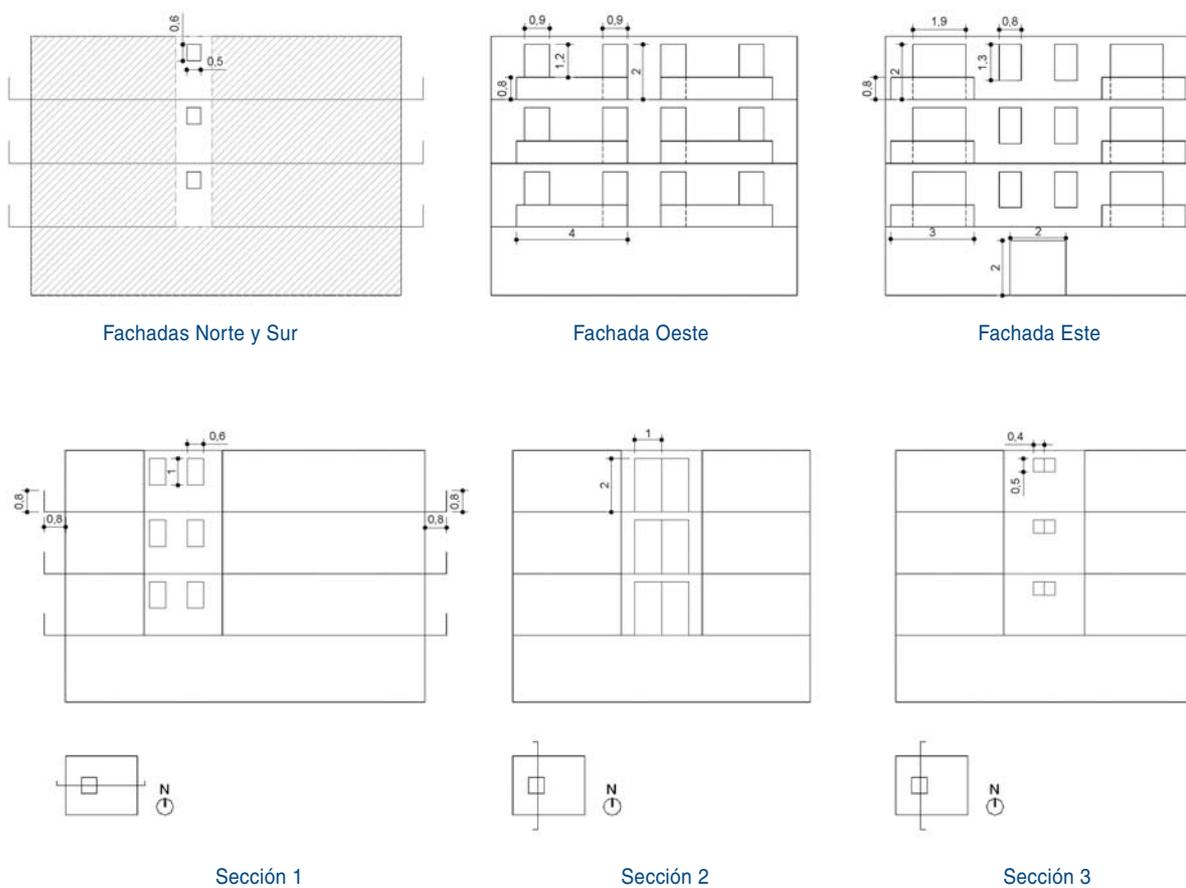


Figura 10: Fachadas y Secciones



## ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

**Tabla 23:** Descripción de espacios en bloques de viviendas

Piso	Espacio	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Acondicionado No Acondicionado	Descripción
Piso 0 -	0+01	146.30	2.50	NA	Comercial
Piso 1 +	1+01	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+02	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 1 +	1+03	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 1 +	1+04	17.68	2.30	A	Sala estar
Piso 1 +	1+05	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+06	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+07	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 1 +	1+08	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+09	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+10	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 1 +	1+11	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 1 +	1+12	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 1 +	1+13	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 1 +	1+14	17.68	2.30	A	Sala estar
Piso 2 +	2+01	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+02	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 2 +	2+03	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 2 +	2+04	17.68	2.30	A	Sala estar
Piso 2 +	2+05	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+06	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+07	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 2 +	2+08	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+09	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+10	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 2 +	2+11	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 2 +	2+12	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 2 +	2+13	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 2 +	2+14	17.68	2.30	A	Sala estar
Piso 3 +	3+01	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+02	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 3 +	3+03	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 3 +	3+04	17.68	2.30	A	Sala estar
Piso 3 +	3+05	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+06	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+07	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 3 +	3+08	8.99	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+09	9.44	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+10	9.22	2.30	NA	Pasillo
Piso 3 +	3+11	10.92	2.30	NA	Cocina
Piso 3 +	3+12	6.96	2.30	A	Dormitorio
Piso 3 +	3+13	5.59	2.30	NA	Aseo
Piso 3 +	3+14	17.68	2.30	A	Sala estar
<b>TOTAL</b>		<b>559.00</b>			

**2 Descripción de los cerramientos**
**Tabla 24 : Vivienda Individual - cubierta - CTE**

Capas	Material	Espesor (m)	Conduct. Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Valor-R (m <sup>2</sup> K/W)
1ª capa	Teja arcilla	0.100	1.00	2000	800	0.1000
2ª capa	Impermeabilizante	0.003	0.23	1000	1680	0.0130
3ª capa	Mortero de cemento	0.010	1.4	2000	1050	0.0071
4ª capa	Ladrillo - 4 cm	0.040	0.4900	1200	920	0.0816
5ª capa	Cámara de aire H>15 cm	---	---	---	---	0.16
6ª capa	Aislamiento	(*)	0.043	12.0	1450	(*)
7ª capa	Forjado Hormigón	0.210	1.38	1500	1000	0.1522
8ª capa	Enlucido Yeso	0.010	0.30	800	920	0.0333

Absortividad ext. (color) 0.70

(\*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

**Tabla 25 : Bloques de viviendas - cubierta - CTE**

Capas	Material	Espesor (m)	Conduct. Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Valor-R (m <sup>2</sup> K/W)
1ª capa	Baldosín catalán (Plaquetas)	0.020	1.05	2000	880	0.0190
2ª capa	Mortero de cemento	0.010	1.40	2000	1050	0.0071
3ª capa	Aislamiento	(*)	0.043	12.0	1450	(*)
4ª capa	Láminas bituminosas	0.003	0.19	1100	1680	0.0158
5ª capa	Mortero de cemento	0.010	1.40	2000	1050	0.0071
6ª capa	Hormigón celular sin aridos	0.020	0.09	305	1050	0.222
7ª capa	Forjado Hormigón	0.210	1.38	1500	1000	0.1522
8ª capa	Enlucido Yeso	0.010	0.30	800	920	0.0333

Absortividad ext. (color) 0.70

(\*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

**Tabla 26 : Viviendas y bloques de viviendas - fachadas - CTE**

Capas	Material	Espesor (m)	Conduct. Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Valor-R (m <sup>2</sup> K/W)
1ª capa	Ladrillo Macizo (11 cm)	0.110	0.87	1800	1380	0.1264
2ª capa	Mortero de cemento	0.010	1.40	2000	1050	0.0071
3ª capa	Aislamiento	(*)	0.043	12.0	1450	(*)
4ª capa	Ladrillo hueco (3 cm)	0.030	0.49	1200	920	0.0612
5ª capa	Enlucido Yeso	0.010	0.30	800.0	920	0.0333

Absortividad ext. (color) 0.70

(\*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

## ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

**Tabla 27:** Viviendas individuales y bloques de viviendas - Forjado en contacto con espacios no acondicionados - CTE

Capas	Material	Espesor (m)	Conduct. Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Valor-R (m <sup>2</sup> K/W)
1ª capa	Terrazo (2 cm)	0.020	1.16	2000	1050	0.017
2ª capa	Hormigón armado	0.020	1.40	2000	1050	0.014
3ª capa	Aislamiento	(*)	0.043	12.0	1450	(*)
4ª capa	Forjado cerámico	0.110	0.40	1250	880	0.2750
5ª capa	Enlucido Yeso	0.015	0.30	800	920	0.05

Absortividad ext. (color) 0.70

(\*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

**Tabla 28:** Viviendas individuales y bloques de viviendas - Forjado en contacto con el terreno - CTE

Capas	Material	Espesor (m)	Conduct. Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg K)	Valor-R (m <sup>2</sup> K/W)
1ª capa	Encachado	0.150	1.4	2000	1000	0.1071
2ª capa	Hormigón armado	0.020	1.63	2400	1050	0.0123
3ª capa	Mortero Cemento (2 cm)	0.020	1.4	2000	1050	0.0143
4ª capa	Aislamiento	(*)	0.043	12.0	1450	(*)
5ª capa	Terrazo (2 cm)	0.020	1.16	2000	1050	0.017

Absortividad ext. (color) 0.70

(\*) El espesor aislante varía en función de la zona climática y condiciona el valor U final.

### 2.1 Separación con edificios adyacentes

La separación con otros edificios se ha considerado como una capa adiabática.

- **Vivienda individual:** Las fachadas Este y Oeste han sido consideradas adiabáticas.
- **Bloque de viviendas:** Las fachadas Norte y Sur son casi totalmente adiabáticas como se muestra en los dibujos descriptivos.
- **Paredes separativas:** Las paredes separativas se han definido con un  $U = 3.317 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en todos los casos.
- **Puertas exteriores:** Las puertas exteriores se ha considerado que tienen un  $U = 3.317 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  en todos los casos.
- **Vidrios:** El Valor U y el factor solar de los vidrios son los mismos usados en el documento E4.

De Junio a Septiembre se han alcanzado sombras que reducen un 30% las ganancias solares a través de ventanas.

## 2.2 Características del envolvente

Según los requerimientos del CTE, en cada zona climática, se aplicarán unos determinados espesores de aislamiento.

En la tabla siguiente se muestran los valores de aislamiento y de los vidrios, así como los ratios de infiltración de los modelos descritos en el documento E4 para cada zona climática en el escenario CTE.

**Tabla 29:** Viviendas individuales y bloques de viviendas - Parámetros térmicos

Caso	Fachada Exterior		Cubierta		Muros Espacios NA		Vidrios		Infiltraciones	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	Espesor (cm) Aislamiento	U (W/m <sup>2</sup> K)	Espesor (cm) Aislamiento	U (W/m <sup>2</sup> K)	Espesor (cm) Aislamiento	U (W/m <sup>2</sup> K)	Factor solar	Tipo de marco	Caudal (renovaciones/h)
Adosado CTE B4	0.82	3.5	0.45	6.6	0.75	2.8	3.0	0.72	A1	1.5*
Adosado CTE D3	0.66	4.7	0.38	8.3	0.66	4.1	2.2	0.72	A2	0.8*
Adosado CTE E1	0.57	5.8	0.35	9.3	0.57	5.1	2.2	0.72	A2	0.8*
Bloque CTE B4	0.82	3.5	0.47	6.6	0.75	2.8	3.4	0.55	A1	1.5*
Bloque CTE D3	0.66	4.7	0.38	8.3	0.66	4.1	2.6	0.72	A2	0.8*
Bloque CTE E1	0.57	5.8	0.35	9.3	0.57	5.1	2.7	0.72	A2	0.8*

(\*) Estas infiltraciones están relacionadas directamente con la calidad del marco empleado. Y la ventilación nocturna considerada para el periodo de verano.

## 2.3 Ganancias internas y ratios de ventilación

**Tabla 30:** Sumariza las cargas internas consideradas para cada zona y también el ratio de infiltración.

Espacio	Ocupación (m <sup>2</sup> /personas)	Sensibilidad (W/personas)	Latente (W/personas)	Equipos (W/m <sup>2</sup> )	Densidad lumínica	Infiltración (Renovaciones/h)
Vivienda individual (Sótano)	300	71.79	45.42	4.40	4.40	0.5
Vivienda individual (Bajo cubierta)	---	---	---	0	0	0.5
Bloque de viviendas (Comercio)	23.23	71.79	45.42	4.40	4.40	0.5
Resto de espacios	23.23	71.79	45.42	4.40	4.40	(*)

(\*) Depende de la calidad de los marcos, durante las noches del periodo de verano, se ha considerado 4 renovaciones de aire por hora.

## 2.4 Infiltraciones y ventilación

Las infiltraciones durante el periodo de invierno se consideran constantes. El caudal de aire se describe en las tablas siguientes:

Durante las noches de verano, se considera que las viviendas están libres de refrigeración. El caudal considerado es de 4 renovaciones por hora durante el periodo que va desde 1 de Junio a 30 de Septiembre y desde las 2:00h de la madrugada a las 8:00h de la mañana.

### 3 Sistema de Refrigeración y Calefacción

Se han considerado los siguientes equipos y sistemas de calefacción y de refrigeración.

#### — Refrigeración:

EER = 2.0

Esta es la eficiencia usada en la simulación para obtener el consumo en refrigeración de acuerdo con los valores empleados en los modelos E4.

Temperatura: 25° C

Horarios: Desde 10:00 h a 22:00 h.

Periodo de refrigeración: De Junio a Septiembre

#### — Calefacción:

Caldera-Eficiencia = 0.85

Esta es la eficiencia usada en las simulaciones para obtener el consumo de calefacción, de acuerdo con los valores empleados en los modelos E4.

Temperatura: 20° C

Horarios: Desde 10:00 h a 22:00 h.

Periodo de calefacción: Resto del año

**Tabla 31:** Viviendas individuales - CTE B4

Sistema	Área (m <sup>2</sup> )	Refrigeración Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)
Sistema 0+	24.58	0.99	1.41	1.41	0.04	352.03
Sistema 1+ 01	8.21	0.46	0.66	0.66	0.02	164.16
Sistema 1+ 02	8.68	0.47	0.68	0.68	0.02	169.09
Sistema 1+ 05	14.97	0.69	0.99	0.99	0.02	247.85
Sistema 1+ 06	12.60	0.68	0.97	0.97	0.02	242.03

**Tabla 32:** Viviendas individuales - CTE D3

Sistema	Área (m <sup>2</sup> )	Refrigeración Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)
Sistema 0+	24.58	0.91	1.30	1.30	0.03	352.16
Sistema 1+ 01	8.21	0.35	0.50	0.50	0.01	124.19
Sistema 1+ 02	8.68	0.37	0.52	0.52	0.01	130.70
Sistema 1+ 05	14.97	0.62	0.89	0.89	0.02	222.11
Sistema 1+ 06	12.60	0.66	0.94	0.94	0.02	235.62

## ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

**Tabla 33:** Viviendas individuales - CTE E1

Sistema	Área (m <sup>2</sup> )	Refrigeración Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)
Sistema 0+	24.58	1.27	1.82	1.82	0.05	453.75
Sistema 1+ 01	8.21	0.59	0.85	0.85	0.02	211.57
Sistema 1+ 02	8.68	0.62	0.89	0.89	0.02	221.67
Sistema 1+ 05	14.97	0.91	1.30	1.30	0.03	324.36
Sistema 1+ 06	12.60	0.90	1.28	1.28	0.03	320.23

**Tabla 34:** Bloque de viviendas - CTE B4

Sistema (m <sup>2</sup> )	Área Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Refrigeración (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)	Ventilación
Sistema 1+ 01	6.96	0.28	0.40	0.40	0.01	101.07
Sistema 1+ 04	17.68	0.62	0.88	0.88	0.02	219.84
Sistema 1+ 05	8.99	0.52	0.74	0.74	0.02	184.28
Sistema 1+ 06	9.44	0.58	0.82	0.82	0.02	205.73
Sistema 1+ 08	8.99	0.54	0.77	0.77	0.02	192.10
Sistema 1+ 09	9.44	0.42	0.60	0.60	0.02	150.30
Sistema 1+ 12	6.96	0.35	0.50	0.50	0.01	125.72
Sistema 1+ 14	17.68	0.63	0.89	0.89	0.02	223.55
Sistema 2+ 01	6.96	0.30	0.43	0.43	0.01	108.11
Sistema 2+ 04	17.68	0.64	0.92	0.92	0.02	229.54
Sistema 2+ 05	8.99	0.43	0.62	0.62	0.02	153.95
Sistema 2+ 06	9.44	0.32	0.45	0.45	0.01	112.50
Sistema 2+ 08	8.99	0.42	0.60	0.60	0.01	148.97
Sistema 2+ 09	9.44	0.37	0.53	0.53	0.01	133.34
Sistema 2+ 12	6.96	0.27	0.39	0.39	0.01	96.46
Sistema 2+ 14	17.68	0.65	0.93	0.93	0.02	233.65
Sistema 3+ 01	6.96	0.31	0.45	0.45	0.01	112.17
Sistema 3+ 04	17.68	0.70	1.00	1.00	0.02	249.83
Sistema 3+ 05	8.99	0.43	0.61	0.61	0.02	152.84
Sistema 3+ 06	9.44	0.32	0.46	0.46	0.01	114.52
Sistema 3+ 08	8.99	0.41	0.59	0.59	0.01	147.12
Sistema 3+ 09	9.44	0.38	0.54	0.54	0.01	135.04
Sistema 3+ 12	6.96	0.28	0.39	0.39	0.01	98.56
Sistema 3+ 14	17.68	0.71	1.01	1.01	0.03	253.37

## ANEXO 1- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODELOS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

**Tabla 35:** Bloque de viviendas - CTE D3

Sistema (m <sup>2</sup> )	Área Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Refrigeración (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)	Ventilación
Sistema 1+ 01	6.96	0.25	0.35	0.35	0.01	87.85
Sistema 1+ 04	17.68	0.59	0.84	0.84	0.02	210.21
Sistema 1+ 05	8.99	0.44	0.63	0.63	0.02	156.28
Sistema 1+ 06	9.44	0.36	0.52	0.52	0.01	130.26
Sistema 1+ 08	8.99	0.44	0.62	0.62	0.02	156.22
Sistema 1+ 09	9.44	0.33	0.47	0.47	0.01	117.28
Sistema 1+ 12	6.96	0.25	0.36	0.36	0.01	89.69
Sistema 1+ 14	17.68	0.60	0.85	0.85	0.02	212.88
Sistema 2+ 01	6.96	0.25	0.35	0.35	0.01	88.42
Sistema 2+ 04	17.68	0.70	1.00	1.00	0.02	249.86
Sistema 2+ 05	8.99	0.38	0.54	0.54	0.01	135.59
Sistema 2+ 06	9.44	0.27	0.38	0.38	0.01	95.49
Sistema 2+ 08	8.99	0.38	0.54	0.54	0.01	133.93
Sistema 2+ 09	9.44	0.33	0.47	0.47	0.01	117.49
Sistema 2+ 12	6.96	0.23	0.33	0.33	0.01	81.49
Sistema 2+ 14	17.68	0.71	1.01	1.01	0.03	252.68
Sistema 3+ 01	6.96	0.29	0.41	0.41	0.01	103.15
Sistema 3+ 04	17.68	0.84	1.20	1.20	0.03	299.15
Sistema 3+ 05	8.99	0.40	0.57	0.57	0.01	142.41
Sistema 3+ 06	9.44	0.29	0.42	0.42	0.01	104.23
Sistema 3+ 08	8.99	0.39	0.56	0.56	0.01	139.86
Sistema 3+ 09	9.44	0.39	0.55	0.55	0.01	138.45
Sistema 3+ 12	6.96	0.25	0.36	0.36	0.01	90.08
Sistema 3+ 14	17.68	0.84	1.20	1.20	0.03	299.67

**Tabla 36:** Bloque de viviendas - CTE E1

Sistema (m <sup>2</sup> )	Área Sensible (kW)	Refrigeración Total (kW)	Refrigeración (kW)	Calefacción (kW)	Ventilación caudal (m <sup>3</sup> /h)	Ventilación
Sistema 1+ 01	6.96	0.55	0.78	0.78	0.02	194.81
Sistema 1+ 04	17.68	1.14	1.63	1.63	0.04	407.09
Sistema 1+ 05	8.99	0.96	1.37	1.37	0.03	341.39
Sistema 1+ 06	9.44	1.43	2.04	2.04	0.05	508.96
Sistema 1+ 08	8.99	1.02	1.45	1.45	0.04	363.15
Sistema 1+ 09	9.44	0.94	1.34	1.34	0.03	335.46
Sistema 1+ 12	6.96	0.80	1.15	1.15	0.03	286.51
Sistema 1+ 14	17.68	1.17	1.67	1.67	0.04	417.67
Sistema 2+ 01	6.96	0.55	0.78	0.78	0.02	196.02
Sistema 2+ 04	17.68	1.16	1.66	1.66	0.04	415.91
Sistema 2+ 05	8.99	0.71	1.02	1.02	0.03	254.10
Sistema 2+ 06	9.44	0.49	0.70	0.70	0.02	175.37
Sistema 2+ 08	8.99	0.71	1.01	1.01	0.03	252.26
Sistema 2+ 09	9.44	0.77	1.10	1.10	0.03	274.40
Sistema 2+ 12	6.96	0.45	0.65	0.65	0.02	162.47
Sistema 2+ 14	17.68	1.20	1.71	1.71	0.04	428.07
Sistema 3+ 01	6.96	0.55	0.78	0.78	0.02	194.96
Sistema 3+ 04	17.68	1.15	1.64	1.64	0.04	409.47
Sistema 3+ 05	8.99	0.69	0.99	0.99	0.02	246.91
Sistema 3+ 06	9.44	0.50	0.71	0.71	0.02	177.08
Sistema 3+ 08	8.99	0.68	0.97	0.97	0.02	243.37
Sistema 3+ 09	9.44	0.73	1.04	1.04	0.03	260.99
Sistema 3+ 12	6.96	0.46	0.65	0.65	0.02	162.80
Sistema 3+ 14	17.68	1.18	1.68	1.68	0.04	420.11

### **IDAE**

Eficiencia Energética y Energías Renovables. Boletín 6. IDAE, Marzo 2004.

### **EURIMA**

Mitigation of CO<sub>2</sub>, Emissions from the Building Stock. Ecofys 2004.

### **Ministerio de Fomento**

CTE - Documento Básico HE sección 1. Limitación de demanda energética (borrador) Abril 2005.

### **Ministerio de Economía y Hacienda**

E4 Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, sector Edificación, Noviembre 2003.

### **PricewaterhouseCoopers**

Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española.- 2004

## 1 Listado de Tablas

<b>Tabla 1:</b>	<i>Precio de la energía</i>	pág. 5
<b>Tabla 2:</b>	<i>Valores de conversión de CO<sub>2</sub></i>	pág. 5
<b>Tabla 3:</b>	<i>Estimación de edificios de viviendas a construir en el período 2005-2012</i>	pág. 6
<b>Tabla 4:</b>	<i>Estimación de la superficie total de los edificios (m<sup>2</sup>)</i>	pág. 6
<b>Tabla 5:</b>	<i>Valor U para cada una de las diferentes zonas climáticas</i>	pág. 9
<b>Tabla 6:</b>	<i>Total espesor de aislamiento por zonas climáticas</i>	pág. 10
<b>Tabla 7:</b>	<i>Valor U y factor solar para viviendas unifamiliares y en bloque</i>	pág. 10
<b>Tabla 8:</b>	<i>Espesor óptimo de aislamiento adicional</i>	pág. 11
<b>Tabla 9:</b>	<i>Espesor adicional</i>	pág. 11
<b>Tabla 10:</b>	<i>Espesores adicionales y totales por zonas climáticas</i>	pág. 12
<b>Tabla 11:</b>	<i>Valores del aislamiento utilizados en el Escenario CTE</i>	pág. 13
<b>Tabla 12:</b>	<i>Valores del aislamiento utilizados en el Escenario CTE-PLUS</i>	pág. 14
<b>Tabla 13:</b>	<i>Vivienda individual</i>	pág. 15
<b>Tabla 14:</b>	<i>Ahorros energéticos entre escenarios</i>	pág. 16
<b>Tabla 15:</b>	<i>Bloque de viviendas</i>	pág. 17
<b>Tabla 16:</b>	<i>Ahorros energéticos entre escenarios</i>	pág. 18
<b>Tabla 17:</b>	<i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> Viviendas individuales</i>	pág. 19
<b>Tabla 18:</b>	<i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> Bloque de viviendas</i>	pág. 19
<b>Tabla 19:</b>	<i>Resultados ahorro energético y emisiones de CO<sub>2</sub> Total viviendas</i>	pág. 20
<b>Tabla 20:</b>	<i>Resultados ahorros energéticos anuales y total acumulado</i>	pág. 21
<b>Tabla 21:</b>	<i>Resultados anuales de CO<sub>2</sub> y total acumulado</i>	pág. 21
<b>Tabla 22:</b>	<i>Descripción de espacios en Viviendas individuales</i>	pág. 28
<b>Tabla 23:</b>	<i>Descripción de espacios en Bloques de viviendas</i>	pág. 30
<b>Tabla 24:</b>	<i>Vivienda individual - cubierta - CTE</i>	pág. 31
<b>Tabla 25:</b>	<i>Bloques de viviendas - cubierta - CTE</i>	pág. 31
<b>Tabla 26:</b>	<i>Viviendas y Bloques de viviendas - fachadas - CTE</i>	pág. 31
<b>Tabla 27:</b>	<i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - forjado espacios no acondicionados - CTE</i>	pág. 32
<b>Tabla 28:</b>	<i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - forjado espacios con el terreno - CTE</i>	pág. 32
<b>Tabla 29:</b>	<i>Viviendas individuales y Bloques de viviendas - parámetros térmicos</i>	pág. 33
<b>Tabla 30:</b>	<i>Sumariza las cargas internas consideradas para cada zona y también el ratio de infiltración</i>	pág. 33
<b>Tabla 31:</b>	<i>Viviendas individuales - CTE B4</i>	pág. 34
<b>Tabla 32:</b>	<i>Viviendas individuales - CTE D3</i>	pág. 34
<b>Tabla 33:</b>	<i>Viviendas individuales - CTE E1</i>	pág. 35
<b>Tabla 34:</b>	<i>Bloque de viviendas - CTE B4</i>	pág. 35
<b>Tabla 35:</b>	<i>Bloque de viviendas - CTE D3</i>	pág. 36
<b>Tabla 36:</b>	<i>Bloque de viviendas - CTE E1</i>	pág. 36
<b>Tabla 37:</b>	<i>Tabla de zonas climáticas por provincias</i>	pág. 37

## 2 Listado de Figuras

<b>Figura 1:</b>	<i>Vivienda unifamiliar</i>	pág. 4
<b>Figura 2:</b>	<i>Bloque de viviendas</i>	pág. 4
<b>Figura 3:</b>	<i>Factor de conversión (Fc)</i>	pág. 6
<b>Figura 4:</b>	<i>Ideal y óptimo espesor de aislamiento</i>	pág. 8
<b>Figura 5:</b>	<i>Amortizaciones</i>	pág. 8
<b>Figura 6:</b>	<i>Modelo de vivienda individual</i>	pág. 26
<b>Figura 7:</b>	<i>Plantas</i>	pág. 27
<b>Figura 8:</b>	<i>Fachadas</i>	pág. 27
<b>Figura 9:</b>	<i>Plantas</i>	pág. 29
<b>Figura 10:</b>	<i>Fachadas y Secciones</i>	pág. 29
<b>Figura 11:</b>	<i>Mapa zonas climáticas</i>	pág. 37