



Cálculo y guía de diseño para

- ⊗ Aislamiento Térmico
- 🔊 Control de Ruido Industrial
- ⚡ Eficiencia Energética



Soluciones de Aislamiento Sostenible



Soluciones de Aislamiento Sostenible



ISOVER Aislamiento en la Industria

1. Introducción.....	6
1. Aislamiento en la Industria.....	10
1.1. Aplicaciones	10
1.2. Razones para aislar	12
1.3. Eficiencia energética	14
1.4. Prestaciones acústicas	17
1.5. Protección al fuego	18
1.6. Protección contra la corrosión	19
1.7. Protección del medio ambiente	20
2. Gama ISOVER TECH	22
2.1. Gama de productos europeos	
ISOVER TECH: para mejorar la eficiencia	
energética en la industria	22
2.2. Las soluciones adecuadas para todas	
las temperaturas	23
3. Materiales	24
3.1. Lana de Vidrio	24
3.2. Lana de Roca	26
3.3. ULTIMATE®	28
4. Medio ambiente, salud y seguridad	30
4.1. Política de EHS de Saint-Gobain	30
4.2. Protección del Medio ambiente	30
4.3. Certificación EUCEB	32
4.4. Hoja de datos de seguridad	32
4.5. Declaración Ambiental de Producto (EPD).....	33
5. Estándares para aplicaciones industriales	34
5.1. Organismos de normalización	34
5.2. Otras especificaciones técnicas, guías	35
5.3. Propiedades relevantes para	
un producto de aislamiento	36
5.4. Lista de normas y documentos	
de referencia aplicables.....	36
5.4.1. Norma armonizada	36
5.4.2. Estándares internacionales.	
Métodos de ensayo.....	36
5.4.3. Normas europeas:	36
5.4.4. ASTM.....	37
5.4.5. Otras normas	39
2. Teoría del Aislamiento Térmico	40
1. Conceptos fundamentales	42
1.1. Termodinámica y transmisión de calor.....	42
1.2. Mecanismos de transmisión de calor	42
1.2.1. Por conducción.....	43
1.2.2. Por convección.....	44
1.2.3. Por radiación.....	45
1.3. Transmisión superficial de calor	46
1.3.1. Parte convectiva del	
coeficiente de superficie, h_{cv}	46
1.3.2. Parte radiativa del coeficiente	
de superficie, h_r	49
1.3.3. Aproximación para el cálculo del	
coeficiente superficial de transmisión	
de calor interior, (h_i)	49
1.3.4. Aproximación para el cálculo del	
coeficiente superficial de transmisión	
de calor exterior (h_e).....	49
1.4. Transmisión de calor por conducción	
en régimen estacionario	50
1.4.1. En paredes planas	50
1.4.2. En cilindros y esferas	59
1.4.3. En secciones rectangulares	69
1.5. Transmitancia térmica	71
2. Distribución de temperaturas.....	74
2.1. Temperaturas intermedias	74
2.2. Temperatura superficial	76
3. Prevención de condensación superficial	77
4. Aplicaciones especiales	78
4.1. Cambio de temperatura	
longitudinal en una tubería	78
4.2. Cambio de temperatura y tiempo	
de enfriamiento en acumuladores	
y depósitos	80
4.3. Cálculo del tiempo de enfriamiento	
y congelación de líquidos en reposo.....	80
4.4. Tuberías enterradas.....	83
5. Puentes térmicos.....	84
5.1. Conductividad Térmica Media.....	84
5.2. Conductividad Térmica de diseño	84
5.2.1. Factor de corrección F.....	84
5.2.2. Incrementos de λ ($\Delta\lambda$)	84
6. Reglas generales relacionadas con	
 la instalación	87
6.1. Longitudes equivalentes	87
6.2. Perdidas energéticas	
en soportes y cuelgues.....	87
3. Eficiencia Energética	
 en la Industria	88
1. Eficiencia energética en la industria.	
 situación actual	90
2. Eficiencia energética en la industria.	
 normativa aplicable	91
3. ¿Por qué ahorrar a través	
 del aislamiento?.....	91
4. Potencial de ahorro económico	
 a través del aislamiento	92
5. Pasos a seguir para aprovechar	
 el potencial del ahorro	
 energético	93
5.1. Paso 1. Aislar las partes no aisladas o dañadas	
(es donde está el mayor potencial, con	
payback menores a 1 año)	93
5.2. Paso 2. Evaluar el aislamiento Coste-Efectivo	
y considerar el coste energéticamente	
eficiente.	93
5.3. Paso 3. Involucrar a expertos en aislamiento	
en las etapas iniciales de los proyectos y	
las nuevas construcciones	94
6. Casos prácticos reales en la Industria.....	94
6.1. TIPCHECK 1. Fabricación	
de Placa de Yeso Laminado	95
6.2. TIPCHECK 2. Fabricación de Lana Mineral	96
6.3. TIPCHECK 3. Industrial Auxiliar Cerámica.....	97
6.4. TIPCHECK 4. Automoción	98

4. Técnicas de Aislamiento Térmico..100

1. Gama ISOVER TECH - Gama completa de soluciones para industria.....102	
1.1. Soluciones de aislamiento para tuberías 102	
1.1.1. Aislamiento con ISOVER TECH Pipe Section..... 102	
1.1.2. Soluciones de aislamiento ISOVER TECH para tuberías de medio y gran diámetro 103	
1.2. Soluciones de aislamiento para tanques de almacenamiento 104	
1.2.1. Aislamiento en paredes de tanques..... 104	
1.2.2. Aislamiento en techos de tanques con altas temperaturas 105	
1.3. Soluciones de aislamiento para calderas, conductos y chimeneas 106	
1.4 Soluciones de aislamientos para aplicaciones industriales especiales..... 107	
1.4.1. ISOVER CRYOLENE - Aislamiento para tanques criogénicos 107	
1.4.2. ISOVER TECH "QN"- Soluciones de aislamiento en calidad nuclear 108	
1.4.3. ISOVER "EX"- Soluciones de aislamiento para áreas con riesgos de explosión..... 109	
2. Aplicaciones.....111	
2.1. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de sales - Soluciones con manta armada..... 112	
2.2. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de sales- Soluciones con paneles 114	
2.3. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de aguas residuales (Digestores) - Soluciones con mantas/ rollos..... 116	
2.4. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanque de almacenamiento de combustibles. 118	
2.5. Tuberías de gran diámetr. Tubería de vapor sobrecalentado - Soluciones con Manta armada 120	
2.6. Tuberías de diámetro medio. Tubería de calefacción de distrito - Coquillas y Mantas armadas (dos capas) 122	
2.7. Tuberías de diámetro medio - Alta temperatura. Tubería vapor reformado - Coquillas y Mantas armadas (multicapa)..... 124	
2.8. Tuberías de pequeño diámetro - Baja temperatura. Tubería de agua caliente - Coquillas 126	
2.9. Aislamiento de válvulas - Temperatura media Cajas y colchonetas desmontables..... 128	
2.10. Aislamiento de bridas - Temperatura media - Cajas y colchonetas desmontables 130	
2.11 Conducto de gases de combustión, Desnitrificación / Desulfuraciónn SCR FLUE GAS - Mantas armadas 132	
2.12. Conducto de gases de escape, Absorbedor - Mantas armadas..... 134	

3. Procedimientos generales de instalación de aislamiento136

3.1. Introducción 136	
3.2. Prevención, seguridad y salud laboral en la instalación de aislamiento térmico..... 136	
3.3. Observaciones generales 137	
3.4. Sistemas de montaje del aislamiento en tuberías 138	
3.4.1. Tramos rectos. Una capa de aislamiento 138	
3.4.2. Tramos rectos. 2 o más capas de aislamiento 140	
3.4.3. Secciones curvas..... 141	
3.4.4. Bridas y válvulas..... 142	
3.4.5. Tuberías con traceado 143	
3.4.6. Otros componentes de tubería..... 145	
3.5. Sistemas de aislamiento para equipos y tanques 147	
3.6. Plan de inspección de calidad..... 156	
3.6.1. Tubería..... 156	
3.6.2. Equipos 157	
3.6.3. Supervisión de obras..... 159	
4. Corrosión bajo aislamiento (CUI)160	
4.1. Definiciones 160	
4.1.1. Humedad..... 160	
4.1.2. Humedad absoluta y relativa 160	
4.1.3. Transmisión de vapor de agua 160	
4.1.4. Condensación y punto de rocío 160	
4.2. Comportamiento de los productos de aislamiento 161	
4.2.1. Prestaciones con aislamiento húmedo..... 161	
4.2.2. Entrada de agua..... 161	
4.3. Corrosión bajo aislamiento (CUI)..... 162	
4.3.1. ¿Qué es CUI?..... 162	
4.3.2. ¿Qué hacer en condiciones críticas?.... 163	
4.3.3. Protección del metal..... 163	
4.3.4. Instalación del sistema de aislamiento..... 163	
4.3.5. Mantenimiento 164	

5. Control Ruido Industrial.....166

1. Conceptos fundamentales166	
1.1. Acústica..... 168	
1.2. Concepto de sonido..... 168	
1.3. Propiedades físicas del sonido 168	
1.3.1. Velocidad de propagación 168	
1.3.2. Amplitud..... 168	
1.3.3. Frecuencia..... 168	
1.4. Otras magnitudes físicas..... 169	
1.4.1. Intensidad sonora..... 169	
1.4.2. Potencia sonora..... 169	
1.4.3. Impedancia acústica..... 169	
1.4.4. Escala de nivel sonoro..... 170	
1.4.5. Sonoridad y efecto enmascaramiento 171	
1.4.6. Ruido..... 171	
1.4.7. Sonido aéreo y sonido estructural 172	
1.4.8. Ondas transversales y longitudinales... 172	
1.4.9. Escalas de ponderación. Curva A..... 171	
1.4.10. Nivel de banda de octava..... 173	
1.4.11. Combinación de niveles 174	
1.4.12. Curvas de valoración NR 174	
1.4.13. Reflexión, absorción y transmisión del sonido..... 176	

1.4.14. Difracción y refracción.....	176	5. Ejemplos de control de ruido.....248
1.4.15. Vibraciones.....	177	5.1. Tratamientos absorbentes.....
2. Propagación sonora.....178		5.2. Control de ruido en conductos.....
2.1. Tipos de fuentes sonoras.....	178	5.3. Silenciadores.....
2.2. Propagación del sonido en el exterior.....	178	5.4. Barreras acústicas.....
2.2.1. Fuentes puntuales.....	178	5.5. Cerramientos acústicos.....
2.2.2. Fuentes lineales.....	180	5.6. Control de ruido en tuberías.....
2.2.3. Factores ambientales.....	181	
2.2.4. Campo de radiación de una fuente.....	186	6. Documentación & Apéndice.....262
2.3. Propagación sonora en recintos.....	190	1. Datos científicos y técnicos.....264
2.3.1. Campo directo y Campo reverberante.....	190	1.1. Definición de símbolos.....
2.3.2. Coeficientes de absorción.....	191	1.2. Diferencias máximas de temperatura entre la superficie y el aire ambiente para evitar la con- densación (punto de rocío).....
2.3.3. Reverberación.....	192	265
2.3.4. Acondicionamiento acústico.....	196	1.3. Longitud equivalente para instalación "puentes térmicos" (ISO 12241).....
2.3.5. Materiales absorbentes sonoros.....	198	266
2.3.6. Propiedades acústicas de las lanas minerales.....	200	1.4. Velocidad del viento.....
2.3.7. Aislamiento acústico.....	202	267
3. Control de ruido.....208		1.5. Velocidad media en tuberías.....
3.1. Principios de control de ruido.....	208	268
3.1.1. Control de ruido en la fuente.....	209	1.6. Conversión de unidades de potencia.....
3.1.2. Control de ruido en el camino de propagación.....	211	269
3.1.3. Control de ruido en el receptor.....	211	1.7. Conversión de unidades de energía.....
3.2. Tratamientos absorbentes.....	212	269
3.3. Ruido en conductos.....	214	1.8. Emisiones específicas de CO ₂ de varias fuentes de energía.....
3.4. Cerramientos acústicos.....	215	270
3.5. Pantallas acústica.....	218	1.9. Emisividad del sistema de revestimiento.....
3.6. Silenciadores.....	220	270
3.6.1. Definiciones.....	220	1.10. Tiempo promedio de trabajo en plantas industriales.....
3.6.2. Tipos de silenciadores, selección y principios generales.....	221	270
3.6.3. Silenciadores de absorción.....	221	1.11. Poder calorífico medio de los combustibles (VDI 4608-2).....
3.6.4. Silenciadores reactivos.....	223	271
3.6.5. Silenciadores de descarga.....	223	1.12. Conversión de unidades para parámetros térmicos.....
3.6.6. Cálculos.....	224	272
3.6.7. Ruido regenerado o ruido de flujo.....	226	1.13. Factor de resistencia al vapor de agua para materiales aislantes (ISO 10456).....
3.6.8. Perdidas de presión.....	226	272
3.7. Control de vibraciones.....	227	1.14. Espesor de la capa de aire equivalente a la difusión de vapor de agua (ISO 10456).....
3.7.1. Introducción.....	227	273
3.7.2. Control de las frecuencias naturales.....	228	1.15. Temperaturas medias de los países del mundo.....
3.7.3. Amortiguamiento.....	228	274
3.7.4. Aislamiento de vibraciones. Transmisibilidad.....	228	2. Soluciones Aislamiento industrial ISOVER - Fichas técnicas.....277
3.7.5. Tipos de elementos antivibratorios.....	230	TECH Pipe Section MT 4.0.....
3.8. Ruido en tuberías.....	231	278
3.9. Cabinas de protección personal.....	233	TECH Pipe Section MT 4.1.....
3.10. Protecciones auditivas.....	234	280
3.11. Control activo de ruido.....	236	TECH Roll 2.0 Alu2.....
3.11.1. Antecedentes del control de ruido.....	236	281
3.11.2. ¿Qué es el control activo de ruido?.....	237	TECH Slab 3.0.....
3.11.3. Sistemas activos de control de ruido en conductos.....	238	282
3.11.4. Aplicaciones de sistemas activos de control de ruidos.....	241	TECH Slab 2.1.....
4. Confort, seguridad y mediciones.....242		283
4.1. Confort y aspectos de seguridad del ruido industrial.....	242	TECH Slab MT 3.1.....
4.2. Magnitudes acústicas para mediciones y métodos de verificación.....	243	284
4.2.1. Magnitudes acústicas de medición.....	243	TECH Slab MT 5.1.....
4.2.2. Métodos de verificación.....	246	285
		TECH Slab HT 6.1.....
		286
		TECH Wired Mat MT 3.1.....
		287
		TECH Wired Mat MT 4.2.....
		288
		TECH Wired Mat MT 5.1.....
		289
		TECH Wired Mat MT 5.1 Alu1.....
		290
		TECH Wired Mat MT 6.1.....
		291
		U TECH Pipe Section MT 4.0.....
		292
		U Protect Pipe Section Alu2.....
		294
		TECH Loose HT/EX.....
		295
		TECH Slab 2.1 V2.....
		296
		TECH Slab MT 2.2 V2.....
		297
		TECH Slab 3.0 G1.....
		298
		U TECH Wired Mat 4.0.....
		299
		U TECH Roll MT 4.0 V1.....
		300
		CRYOLENE 681 AA & VV.....
		302
		CRYOLENE 682 AA & VV.....
		304
		CRYOLENE 684 AA & VV.....
		306
		TECH TELISOL 5.0 QN.....

1. Introducción





Introducción 6

1. Aislamiento en la industria 10

- 1.1 Aplicaciones..... 10
- 1.2 Razones para aislar 12
- 1.3 Eficiencia energética 14
- 1.4 Prestaciones acústicas..... 17
- 1.5 Protección al fuego.....18
- 1.6 Protección contra la corrosión19
- 1.7 Protección del medio ambiente.....20

2. Gama ISOVER TECH..... 22

- 2.1 Gama de productos europeos ISOVER TECH: para mejorar la eficiencia energética en la industria.....22
- 2.2 Las soluciones adecuadas para todas las temperaturas.....23

3. Materiales 24

- 3.1 Lana de Vidrio 24
- 3.2 Lana de Roca 26
- 3.3 ULTIMATE® 28

4. Medio ambiente, salud y seguridad 30

- 4.1 Política de EHS de Saint-Gobain30
- 4.2 Protección del medio ambiente.....30
- 4.3 Certificación EUCEB.....32
- 4.4 Hoja de datos de seguridad.....32
- 4.5 Declaración ambiental de Producto (EPD).....33

5. Estándares para aplicaciones industriales 34

- 5.1. Organismos de normalización34
- 5.2. Otras especificaciones técnicas, guías.....35
- 5.3. Propiedades relevantes para un producto de aislamiento.....36
- 5.4. Lista de normas y documentos de referencia aplicables.....36
 - 5.4.1. Norma armonizada 36
 - 5.4.2. Estándares internacionales. Métodos de ensayo..... 36
 - 5.4.3. Normas europeas: 36
 - 5.4.4. ASTM..... 37
 - 5.4.5. Otras normas 39

Introducción

En ISOVER, ofrecemos soluciones de aislamiento de protección contra el fuego aislamiento térmico, acústico y protección contra la corrosión para cualquier aplicación industrial, sin importar si se trata de generación de energía, industria del petróleo, gas o de procesos, desde tanques de almacenamiento, tuberías y equipos de proceso hasta calderas de alta temperatura o aplicaciones especiales.

Existe una necesidad del uso racional de la energía, debido fundamentalmente a la disponibilidad limitada de los recursos naturales, el incremento de los gases de efecto invernadero y el continuo aumento de los precios de la energía. Esto ha llevado a la industria del aislamiento a centrarse en el desarrollo de nuevos y mejores productos de aislamiento. Sin embargo, todavía se subestima o se desconoce el potencial de ahorro energético del aislamiento térmico en aplicaciones en industria.

ISOVER trabaja en estrecha colaboración con nuestros clientes, para entender las demandas y las especificaciones de los proyectos de aislamiento relacionados con la industria. Nuestros expertos le ofrecerán a usted y a sus clientes una respuesta técnica adecuada, fiable y sostenible en cualquier etapa del proyecto.

En este manual encontrará la descripción completa de las soluciones sostenibles y eficientes en la industria, amplia información teórica sobre el aislamiento en industria, estándares y reglamentos, documentos técnicos, procedimientos de auditoría energética así como guías de aplicación e instalación para las soluciones de Lana Mineral ISOVER.

Nuestro objetivo es proporcionar un documento de referencia técnica para operadores de planta, diseñadores, constructores, ingenieros y contratistas, que permita al lector poder enfrentarse a las diferentes configuraciones y escenarios de casos reales obteniendo la solución de aislamiento ideal para cada aplicación, limitando las pérdidas energéticas de un sistema, aumentando su eficiencia, y minimizando los costes de inversión y reduciendo los tiempos de retorno de capital.

Además, este manual será una valiosa fuente de información para estudiantes, profesores académicos, y cualquier profesional involucrado en el aislamiento técnico en industria.

Este manual no se limita estrictamente al uso comercial, sino también con fines educativos e informativos.

Para usuarios finales y operadores de planta

Las soluciones de aislamiento ISOVER TECH satisfacen de manera sostenible las demandas de seguridad del proceso y protección personal, pero también ayudan a disminuir costes al reducir la pérdida de calor y las emisiones de CO₂, mejorando la eficiencia energética de la planta.



Para ingenierías y diseñadores

Con nuestra gran competencia, servicios y herramientas junto con una cartera de productos certificados y adaptados a la industria, le ayudamos a planificar y optimizar el diseño de los sistemas de aislamiento en términos de costes y eficiencia.



Para instaladores y contratistas

Proporcionamos soluciones de aislamiento técnico de altas prestaciones rentables y fácil instalación, sin importar si se trata de un mantenimiento rápido, un plazo de entrega exigente o proyectos nuevos con alcance local o internacional.



Para distribuidores de Aislamiento Técnico

Las soluciones de aislamiento ISOVER TECH satisfacen las altas demandas de calidad de sus clientes y están optimizadas para reducir espacio en el transporte, almacenamiento, los costes y la energía, así como mejorar los tiempos de entrega



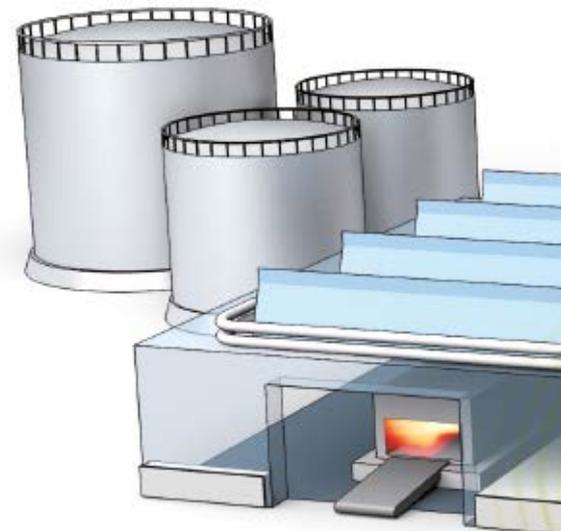
1. Aislamiento en la industria

1.1. Aplicaciones

El aislamiento de las plantas y equipos de procesos industriales demanda altas exigencias y requisitos técnicos al diseñador del sistema, al instalador y al proveedor de aislamiento.

ISOVER ha trabajado en estrecha colaboración con diseñadores, operadores y contratistas de procesos industriales para desarrollar una gama de soluciones industriales que cumplan con cualquier requisito de aislamiento en tanques, depósitos, tuberías y otros equipos de proceso en la industria de generación de energía, petróleo y gas, productos químicos y otros procesos:

- **Proveer una selección de productos que satisfagan las demandas de flexibilidad y facilidad de instalación.**
- **Ser capaz de hacer frente a la expansión y contracción diaria de los sistemas. Así como a las vibraciones y temperaturas cambiantes.**



Tuberías

Los sistemas de tuberías diseñados para transportar líquidos y gases son parte integral de cualquier proceso industrial. El aislamiento de tuberías es esencial para garantizar la estabilidad del proceso y del fluido reducir la pérdida de calor y los costes de energía, además de proporcionar protección personal y contra la corrosión.

Las soluciones para tuberías ISOVER TECH son la elección perfecta para cumplir con todos estos requisitos, ya que proporcionan aislamiento térmico, acústico y protección contra el fuego en un solo producto. Son ideales para diferentes rangos de diámetros, desde tuberías de pequeño hasta gran diámetro.

Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento en la industria varían en tamaño, forma y temperatura del fluido según el proceso que soportan. Sin embargo, todos necesitan un aislamiento efectivo que cumpla con los requisitos de estabilidad de temperatura, mantener el calor y el frío y satisfacer todos los requisitos de seguridad, así como proteger al personal del contacto de superficies calientes o frías.

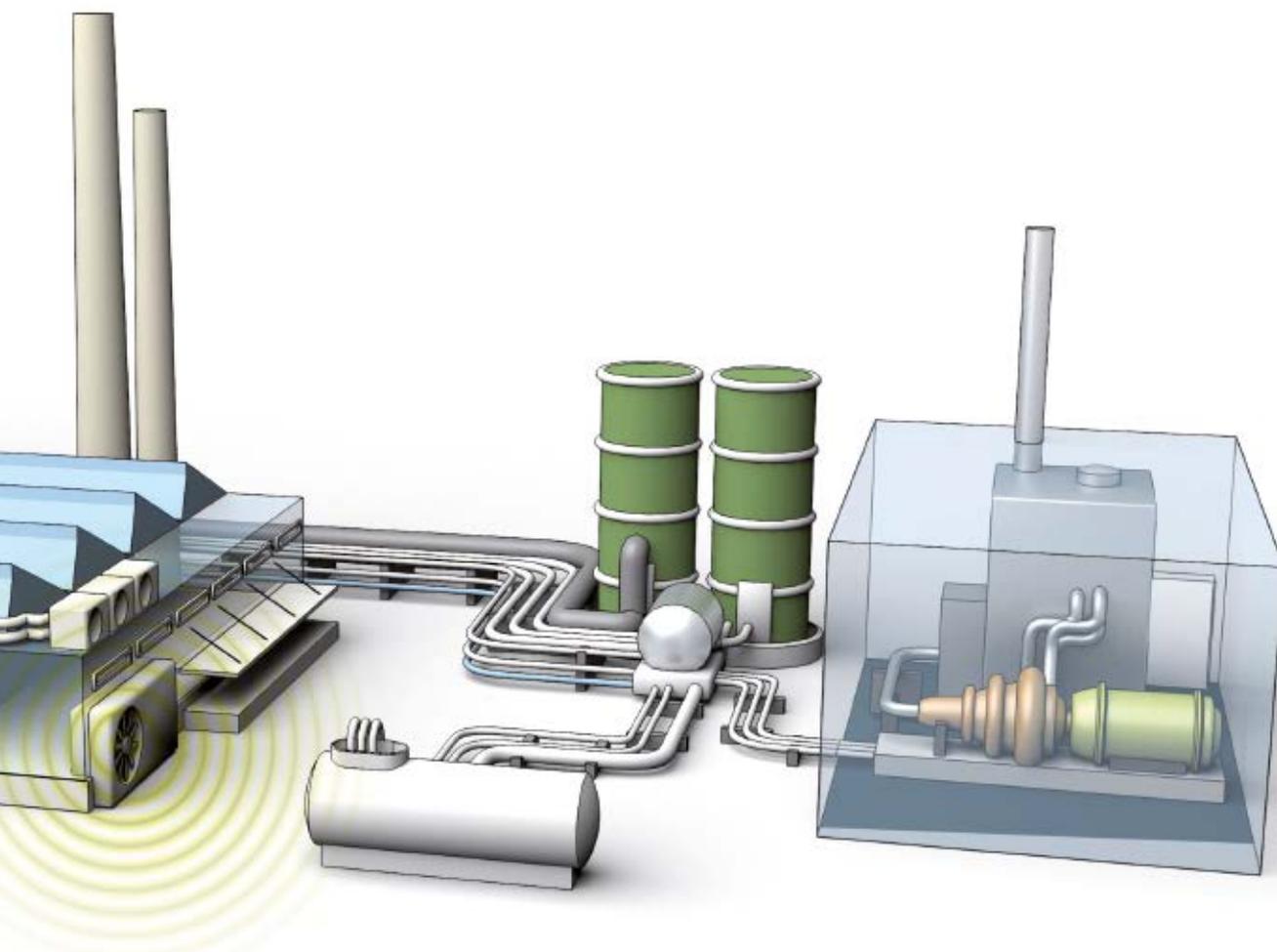
Por ello, ISOVER ofrece una amplia variedad de soluciones TECH eficientes y flexibles para el aislamiento de paredes y techos de tanques, que requieran o no estructuras de soporte o distanciadores.

Calderas y Hornos industriales

Las calderas y hornos industriales resultan muy exigentes en términos de sistemas de aislamiento, ya que operan con temperaturas muy altas. En estas condiciones el objetivo principal del aislamiento consiste en proteger al personal de quemaduras de la piel que puedan ocurrir a partir de 60 °C. Además, un sistema de aislamiento correctamente diseñado contribuirá a reducir considerablemente el gasto de energía y reduce las emisiones de CO₂, ayudando a mejorar la eficiencia energética en general del sistema que se aísla.

ISOVER ofrece soluciones de la gama TECH flexibles, ligeros y eficientes que se pueden usar hasta 700 °C reduciendo la pérdida de calor con menor espesor cuando se tienen limitaciones de espacio.





Conductos de escape y chimeneas

El aislamiento de los sistemas de conductos de escape o de gases de combustión así como el filtrado y aislamiento de las chimeneas industriales, es vital para la gestión de flujo de energía y el control del proceso de una planta. El aislamiento térmico es indispensable para reducir la pérdida de calor y proteger al personal trabajador. Aún más importante es el control de la temperatura de los gases de combustión para impedir la condensación y la corrosión que llevaría a una reducción de la duración de vida y/o calidad del sistema en sí. Los altos caudales, la presión y las turbulencias de los gases de combustión son causantes de altos niveles sonoros que requieren soluciones de control de ruido eficientes.

La gama TECH flexible de ISOVER proporciona soluciones todo en uno, ofreciendo una gama de diferentes niveles de prestaciones térmicas y temperatura para geometrías rectangulares y circulares o irregulares.

Equipos de proceso

Existe una gran variedad de equipos que son particularmente exigentes en términos de aislamiento térmico o acústico, así como desde el punto de vista de la instalación.

Entre ellos, intercambiadores de calor, depósitos, turbinas, compresores, motores... ISOVER ofrece una amplia gama de soluciones sostenibles, respetuosas con el medio ambiente y polivalentes, que ofrecen un rendimiento eficaz para reducir los costes de los procesos de energía y mejorando su eficiencia.



1.2. Razones para aislar

Por seguridad, reducción de la pérdida de calor la pérdida de calor y aumento de la estabilidad de los procesos es necesario la instalación de aislamiento técnico. ISOVER ofrece soluciones adecuadas para todos estos requisitos. Las principales razones por las cuales el aislamiento de los equipos y procesos en la industria es imprescindible son:



Protección personal

- Para proteger al personal de mantenimiento de lesiones por contacto y quemaduras en la piel cuando se trabaja cerca de tuberías y superficies calientes de equipos, siendo la temperatura máxima de la superficie de 60 °C.

Estabilidad de procesos

- Mantener límites de temperatura en procesos industriales para líquidos o gases transportados o almacenados.
- Evitar la corrosión debido a altos niveles de humedad o por temperaturas por debajo del punto de rocío.
- Evitar que las tuberías y los equipos se congelen a bajas temperaturas ambientales.

Reducción de costes energéticos

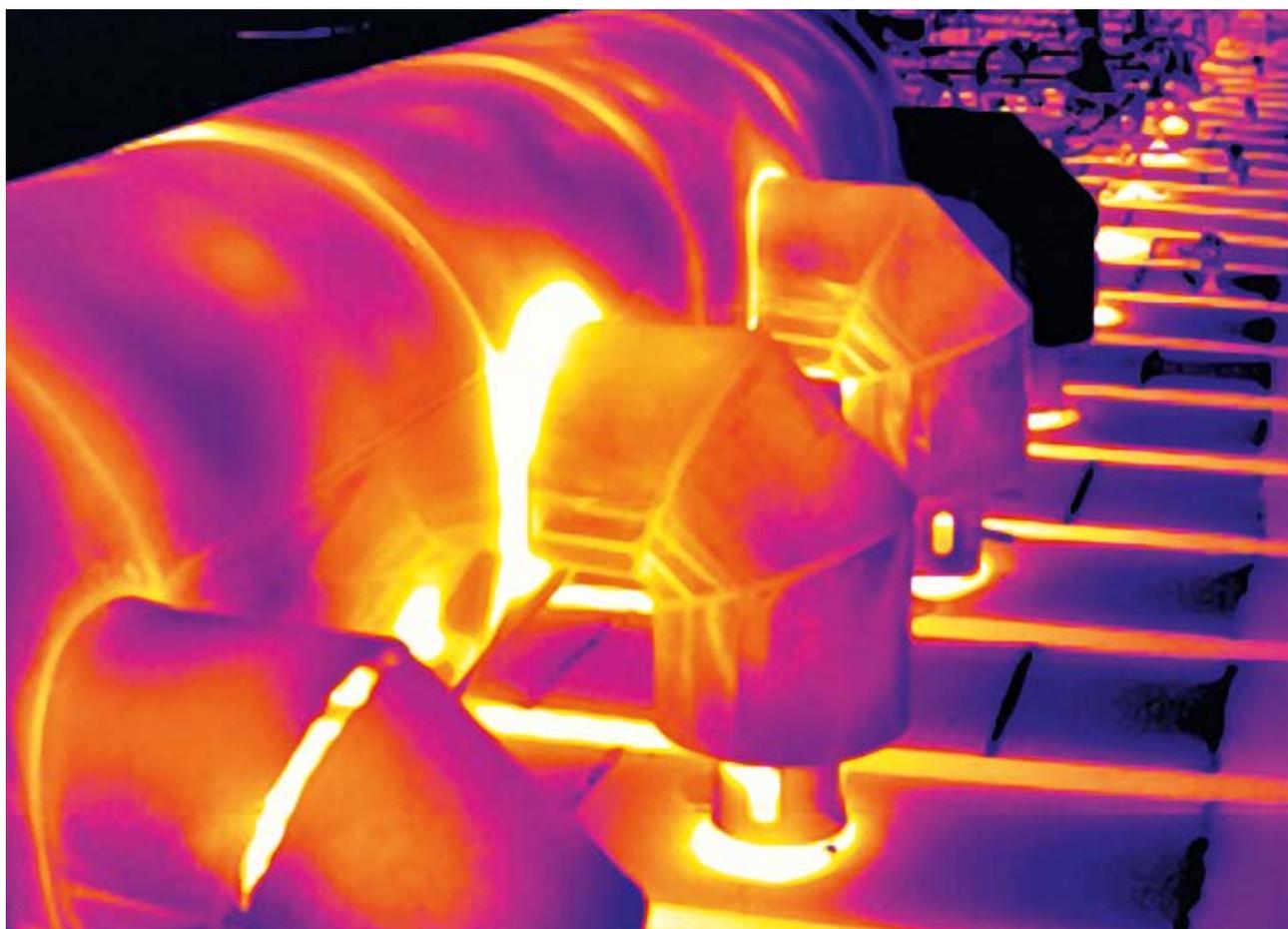
- Reducir la pérdida o ganancia de calor, reduciendo la cantidad de energía necesaria para el mantenimiento del proceso en equilibrio, por lo que se ahorra en costes energéticos (se pueden calcular fácilmente en base a estándares de industria como ISO 12241, VDI 2055, ASTM C680, o software de cálculo ISOVER TECH CALC 2.0).
- Optimizar el aislamiento existente reducirá costes en la instalación y proveerá ahorros energéticos durante toda la vida útil de la instalación.

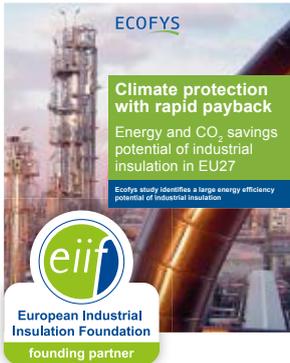
Disminución del impacto medioambiental

- Para optimizar la eficiencia del aislamiento, se maximizará la disminución de emisiones de CO₂ (y por ello se reducirán los costes de las tasas impositivas de emisiones de CO₂), además de proporcionar un margen adecuado de maniobra de futuros incrementos de los costes de energía.
- Utilizar materiales de aislamiento innovadores de nueva generación, como ULTIMATE®, y nuevos sistemas de aislamiento, como los sistemas de revestimiento de baja emisividad, reducción de puentes térmicos en las estructura soporte y distanciadores, ayudarán a maximizar el ahorro de energía y mejorar la protección del medio ambiente en los procesos industriales.

Máximas prestaciones térmicas para una mejor sostenibilidad

- La gama de productos ISOVER TECH está diseñada para proporcionar una óptima conductividad térmica para cada aplicación y temperatura. La conductividad térmica del aislamiento se mide de acuerdo con EN 12667 para productos planos e ISO EN 8497 para secciones de tuberías o coquillas
- Las prestaciones térmicas de los productos ISOVER están garantizadas por un estricto control de calidad, tanto interna como externamente, por ejemplo, a través de estándares de calidad como VDI 2055 u otras acreditaciones. Desde 2013, todos los productos de aislamiento técnico ISOVER en Europa tienen la marca CE de acuerdo con la norma EN 14303 para productos de aislamiento de Lana Mineral.





1.3. Eficiencia energética

Potencial de ahorro energético en el Aislamiento Industrial

ISOVER ha identificado junto con EIIIF y Ecofys el gran potencial de ahorro de energía del aislamiento industrial en Europa en más de 620 PJ. Como consecuencia de esto, se podrían apagar 15 centrales eléctricas de carbón de 500 MW, si se aislaran las áreas no aisladas y se reemplazara el aislamiento insuficiente, inadecuado o dañado.

El aislamiento industrial es una buena técnica, que podría ayudar a la industria de EU27 a reducir su consumo total de energía en un 4%. Por lo general, el retorno de la inversión en aislamiento es inferior a 2 años, a veces incluso inferior a 1 año.

Todo esto se encuentra en el Estudio Ecofys: "Protección del clima con rápida amortización económica" iniciado por la European Industrial Insulation Foundation (EIIIF), del cual ISOVER es miembro fundador.

¿De dónde proviene este gran potencial de aislamiento?

Las especificaciones de aislamiento térmico siguen hoy a menudo solo requisitos de protección personal (temperatura mínima de la superficie caliente) o requerimientos anticuados de pérdida de calor estático. En comparación con los estándares de construcción, los espesores de aislamiento en la industria son iguales o menores que en construcción, mientras que las diferencias de temperatura son mucho más altas.

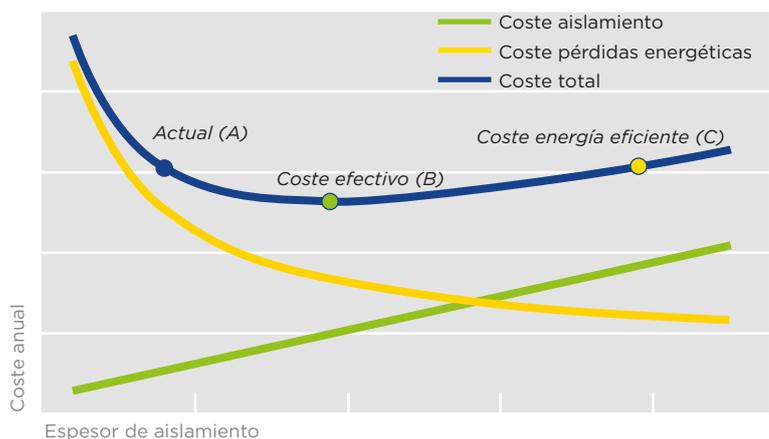
Existen numerosas plantas industriales y de mantenimiento con enormes potenciales de ahorro, como las partes de los equipos que no están aisladas, o el aislamiento está dañado y no se reemplaza, tablas de espesor de aislamiento desactualizadas siguiendo los niveles de costes de energía del pasado.



¿Cómo se puede cambiar el diseño del aislamiento?

El aislamiento todavía hoy se ve como un coste en vez de como una inversión. En la práctica habitual no se piensa en su rentabilidad, ni siquiera en la sostenibilidad y la eficiencia energética a través del aislamiento. Los espesores económicos de aislamiento se pueden calcular fácilmente a través de estándares como ISO 12241, VDI 2055 y ASTM C680. Si los mismos costes actuales se trasladan de los costes energéticos a los costes de inversión/mantenimiento del aislamiento, se podría aprovechar el 75% del potencial de ahorro energético sin ningún esfuerzo, trabajo o precio adicional.

Coste total anual en función de las pérdidas energéticas y de la mejora de aislamiento (espesor)



Servicios y herramientas ISOVER

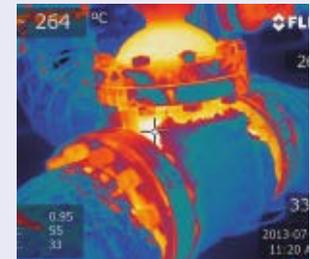
¿Cómo ISOVER puede ayudar a identificar este potencial de ahorro energético en el aislamiento?

ISOVER tiene gran experiencia contrastada en aislamiento industrial y ofrece servicios de auditorías térmicas y productos innovadores de altas prestaciones térmicas que sirvan para aprovechar el gran potencial de ahorro.



ISOVER - auditorías térmicas en plantas industriales

ISOVER tiene ingenieros certificados capaces de realizar chequeos de las prestaciones del aislamiento térmico (TIPCHECK), identificando el potencial de ahorro en las plantas industriales mediante termografía y software de cálculo siguiendo el Estándar EIIF. En colaboración con el cliente, se identifica la prioridad y el plan de acción, calculando no solo el ahorro energético sino también los tiempos de amortización de la inversión financiera necesaria.



ISOVER TechCalc 2.0 - Cálculos térmicos rápidos, avanzados y ahora en el móvil



La herramienta profesional para todos los cálculos térmicos en aislamiento técnico: ¡ahora también en el móvil, más rápido y aún más avanzado!

Calcular la pérdida de calor, la temperatura de la superficie, el espesor de aislamiento requerido y el diseño de aislamiento económico nunca ha sido tan fácil.

TechCalc 2.0 con una nueva interfaz lo guía en 5 sencillos pasos hacia resultados claros, precisos y conforme con los estándares.

Funciona con bases de datos abierta para brindar una flexibilidad total en el uso de diferentes materiales y productos de aislamiento, pero siempre de acuerdo con los principios y normas ISO 12241, ISO 23993, VDI 2055. Disponible ya en 8 idiomas y versiones de 10 países con datos adaptados localmente, es la herramienta perfecta para ingenieros, diseñadores, contratistas y todas las personas involucradas en el diseño de aislamiento térmico.

Para obtener más información y una licencia gratuita de 30 días, visite www.ISOVER-technical-insulation.com

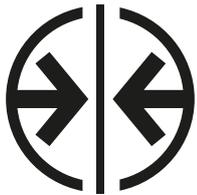
ISOVER EcoTech - Coste total optimizado para el propietario (TCO)



Con ISOVER EcoTech, nuestros expertos en aislamiento pueden diseñar una planta industrial con criterios de diseño basados en soluciones de aislamiento eficiente.

Mediante el uso de insumos específicos de la planta, se pueden comparar diferentes diseños de aislamiento optimizando el coste total de propiedad, mostrando los tiempos de amortización de la inversión financiera.

ISOVER EcoTech ayuda a los ingenieros diseñadores y contratistas a actualizar el diseño del aislamiento para alcanzar estándares de aislamiento rentables y sostenibles, la pérdida de calor con claros beneficios monetarios.



U TECH Altas prestaciones en temperaturas altas



ULTIMATE®, la última innovación en Lana Mineral de ISOVER ofrece ventajas únicas desde temperaturas medias a altas hasta 700 °C, especialmente cuando se debe aumentar la eficiencia energética del aislamiento, y existe poco espacio para el aislamiento y hay restricciones de peso.

ULTIMATE® proporciona:

- **Hasta un 35% de aumento en prestaciones térmicas.**
- **Hasta un 30% de reducción de espesor de aislamiento requerido.**
- **Hasta un 50% de ahorro en peso de aislamiento.** En comparación con el diseño tradicional de aislamiento de Lana de Roca.

Al combinar perfectamente las ventajas de la Lana de Vidrio y de Roca en un solo producto, ULTIMATE® responde a las necesidades de una mayor eficiencia energética en todas las aplicaciones de aislamiento.

Sin infibrados en el producto, las fibras elásticas, largas y ligeras de ULTIMATE® se puede comprimir para el almacenaje y transporte, una vez instalado mantener las propiedades del aislamiento y el espesor a lo largo del tiempo, incluso cuando se expone a vibraciones, choques térmicos y otros condicionantes típicos de la industria.

ULTIMATE® se ha utilizado **durante más de 15 años** en numerosos proyectos de referencia en generación de energía, petróleo y gas, así como en aplicaciones de la industria de procesos.



1.4. Prestaciones acústicas

El silencio es oro

Muchas tuberías y equipos en instalaciones industriales funcionan a alta presión, con fluidos a altas velocidades y a menudo con turbulencias, que pueden causar altos niveles de ruido.



El control de ruido en industria tiene dos objetivos principales:

- Protección auditiva de los trabajadores.
- Reducción de ruido ambiental en el entorno sea en el interior de la industria como el emitido al exterior.

ISOVER ofrece una amplia gama de soluciones de Lana Mineral para un rendimiento acústico óptimo.

Las soluciones de Lana Mineral ISOVER se caracterizan por una alta resistencia al flujo de aire (hasta > 100 kPa·s/m²) y una porosidad uniforme (93-99%), lo que resulta en altos niveles de atenuación del sonido. Su excelente rendimiento es el resultado directo de sus propiedades elásticas y bajo módulo de elasticidad lo que le da a las soluciones de Lana Mineral ISOVER una baja dureza dinámica y las hace superiores a otros aislantes, como las espumas de origen plástico.



Absorción acústica

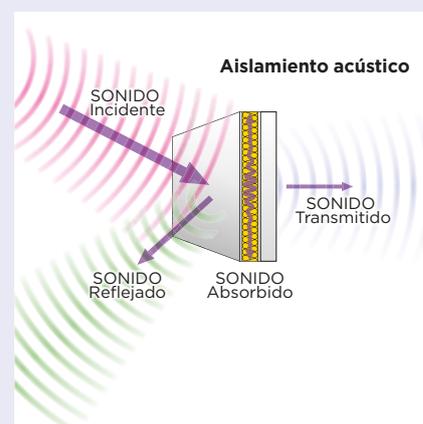
Los productos de Lana Mineral ISOVER ofrecen una excelente absorción acústica, ya que absorben hasta el 95% de la energía incidente del sonido a ciertas frecuencias. Las propiedades de absorción del sonido de los productos ISOVER (caracterizados por el coeficiente de absorción α) se enumeran en las fichas técnicas de producto.

Con ULTIMATE®, estos altos valores de absorción α se pueden alcanzar con hasta un 50% menos de peso de aislamiento que con las construcciones tradicionales de Lana de Roca, especialmente a temperaturas más altas, como podemos encontrar por ejemplo, en silenciadores de escape y equipos de desulfuración. Revestimientos especiales, tales como el velo de vidrio negro o el tejido de vidrio también están disponibles bajo pedido aquellas aplicaciones que requieran una mayor absorción acústica y una mayor estabilidad mecánica aún mayor demandada.

Aislamiento acústico

En áreas de trabajo ruidosas, se pueden usar técnicas de reducción de ruido complementarias a la absorción del sonido. Cerramientos acústicos que utilizan el principio de masa-resorte-masa, son particularmente útiles para reducir las emisiones de ruido de los procesos industriales al entorno ambiental especialmente en las cercanías de las zonas urbanas.

La Lana Mineral ISOVER con altos valores de resistencia al flujo de aire, alta elasticidad y altos valores de absorción de sonido α pueden reducir significativamente las emisiones sonoras en estas construcciones o cerramientos. Con la gama ISOVER U TECH, también se puede lograr un importante ahorro de peso de hasta el 50%, en comparación con las construcciones tradicionales de Lana de Roca, igual que las soluciones de Lana de Vidrio TECH a temperaturas más bajas.





1.5. Protección al fuego

El riesgo de incendio en entornos industriales es mucho mayor que en edificios y otras aplicaciones, particularmente cuando se trabaja en entornos de alta temperatura que contienen medios inflamables y/o explosivos.



Para proteger al personal y al equipo, es importante que se tomen todas las medidas necesarias para proteger las posibles fuentes de incendio y evitar que se inicien.

La protección pasiva contra incendios con materiales no combustibles es la mejor manera de eliminar estos riesgos desde el principio o evitar que se propague el fuego. Es por eso que todos los productos de aislamiento industrial ISOVER ofrecen excelentes propiedades de protección al fuego.

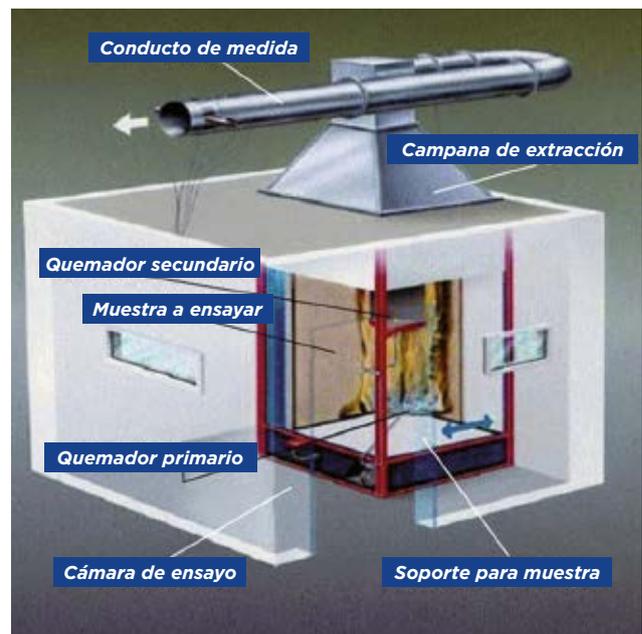
El mejor en su clase

Las soluciones de aislamiento industrial ISOVER ofrecen las mejores propiedades de protección al fuego de su clase. No son combustibles y están clasificadas en el Grupo A de la Euroclase, la clasificación más alta frente al fuego.

Los materiales aislantes ISOVER no por lo que no hay riesgo de incendio causado por chispas de trabajos de soldadura y rectificado realizados cerca del aislamiento. Además, los materiales de aislamiento ISOVER no generan humo ni gases tóxicos, lo cual es de vital importancia para los trabajadores y para el personal de bomberos, en caso de que ocurra un incendio.

Con las soluciones de aislamiento de la industria ISOVER TECH, puede usted sentirse seguro sabiendo que nunca estará expuesto a gases nocivos de los materiales de aislamiento, y que ha hecho todo lo posible para proteger su planta industrial y su negocio.

Horno (SBI) para la determinación de la clasificación de reacción al fuego de acuerdo a EN 13501-1



1.6. Protección contra la corrosión



Protección contra la humedad y la corrosión

Los aceros austeníticos (aleaciones de cromo, níquel y molibdeno) están predispuestos al deterioro por corrosión (agrietamiento por corrosión), causada principalmente por iones solubles en agua, como los cloruros. A medida que aumenta la temperatura, también lo hace el riesgo de deterioro por corrosión. Todos los productos ISOVER industrial TECH son bajos en cloruros

Humedad y repelencia al agua

Los productos de aislamiento con bajo contenido de cloruro son la base para prevenir la corrosión bajo aislamiento (CUI), especialmente cuando se trata de superficies con temperaturas altas. Además, todos los productos de aislamiento industrial ISOVER para uso externo son no-hidrófilos y no higroscópicos, lo que limita la potencial absorción del agua. La estructura de celda abierta permite que los productos se sequen rápidamente, en caso de que se humedezcan, sin perder sus propiedades mecánicas y aislantes.

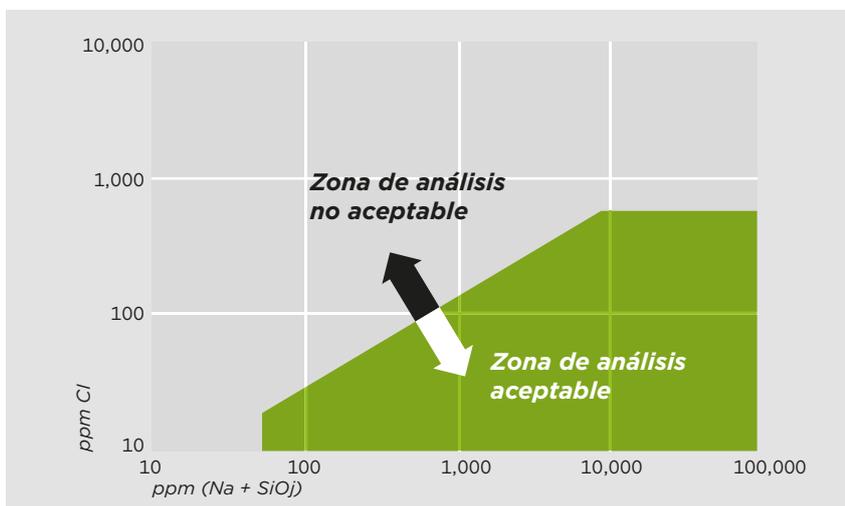
Las prestaciones no-hidrófilas se prueban y miden de acuerdo con AGI-Q 132, que permite una absorción de agua de menos de 1 kg/m² después de sumergirse 24 horas. Sin embargo, los productos de Lana Mineral siempre deben almacenarse en el interior y en ambientes secos para mantener sus prestaciones y bajos contenidos de cloruros que puedan venir externamente. Para aplicaciones en exteriores o en superficies frías, siempre se deben usar revestimientos de chapa metálica o sistemas de protección equivalentes.

Estándares y pautas

Existen diferentes estándares para definir los límites de concentración de iones en productos de aislamiento.

- ASTM C 795, por ejemplo, se refiere al contenido de iones de cloruro, sodio y silicato.
- El llamado diagrama de Karnes define un área aceptable que se identifica como no compatible con la corrosión bajo tensión. Todos los productos ISOVER TECH están dentro del área aceptable.
- Calidad AS (AGI-Q 132): aún más exigente es el AGI-Q 132 que establece el contenido máximo de iones de cloruro en 10 ppm o 10 mg por 1 kg de material aislante. Los materiales de aislamiento que satisfacen este estándar están certificados para la calidad AS. Austenítico (AS) es un término que describe un tipo particular de estructura de acero cristalino. ISOVER ha certificado productos TECH críticos para uso a altas temperaturas como AS-Quality, lo que brinda seguridad adicional a construcciones altamente exigentes.

Análisis aceptable de concentración iones en Lana Mineral según Diagrama de Karnes





1.7. Protección del medio ambiente

Rendimiento sostenible con diseño ecológico

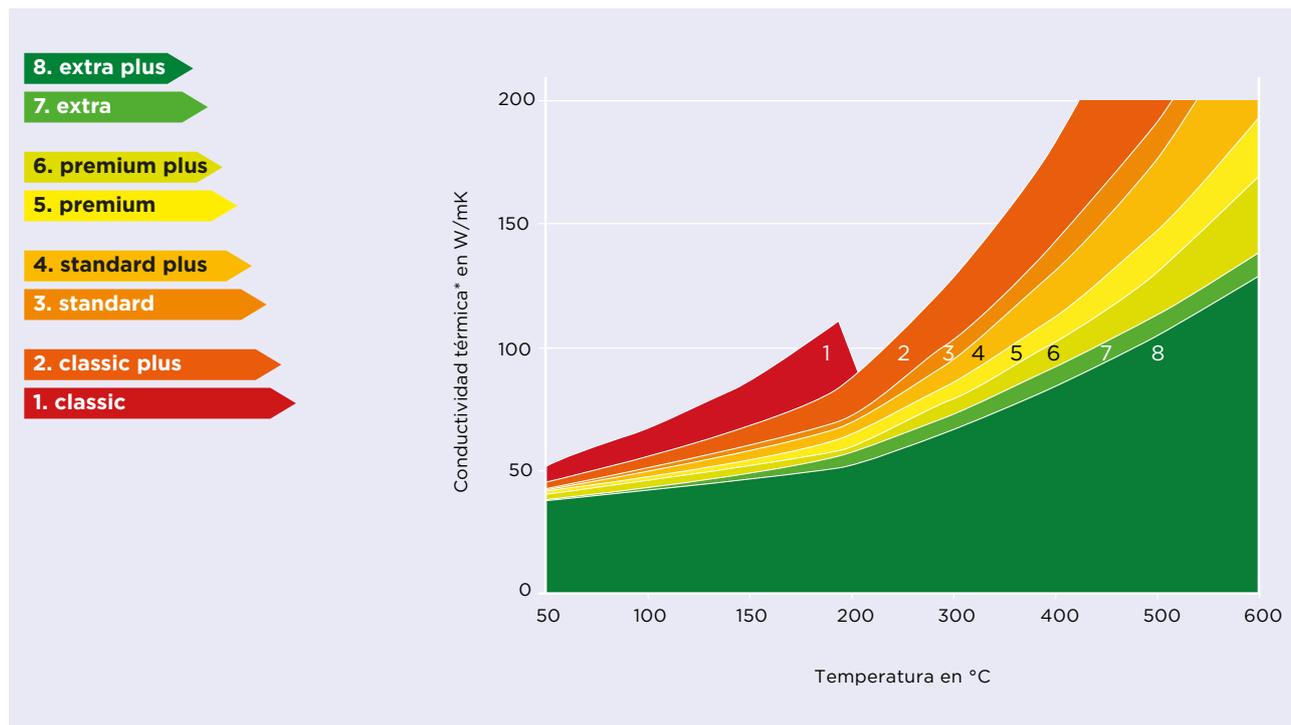
ISOVER está comprometido con la sostenibilidad y el diseño ecológico, no solo para su gama de productos TECH, sino también por los aspectos ambientales, de salud y seguridad de sus materiales y procesos de producción propios.

Clases de eficiencia energética

La conductividad térmica, varía con la temperatura, el tipo de aislamiento y las características específicas de cada producto. ISOVER dispone de la más amplia

gama de productos de aislamiento para la Industria y ha creado una serie de clases de eficiencia energética que van desde "classic" hasta "extra plus". esta indicación se puede observar en el nombre de los productos de la Gama ISOVER TECH.

Indicadores de Eficiencia Energética



* Según normativa EN 12667 e ISO 8497.

Referencia en sostenibilidad

ISOVER ofrece soluciones de aislamiento que ayudan a proteger el medio ambiente y el clima de manera sostenible.

Durante los últimos 25 años, ISOVER ha fabricado alrededor de 1.500 millones de m² de material aislante. Esto equivale aproximadamente a una reducción de 300 millones de toneladas de emisiones de CO₂. ISOVER trabaja constantemente para mejorar no solo el rendimiento térmico de sus productos de aislamiento, sino también los recursos necesarios para fabricarlos.

Por lo tanto, el balance positivo de energía y emisiones de los materiales ISOVER se alcanza en la industria en unos pocos días y amortizándose rápidamente debido a la base de material inorgánico La Lana Mineral ISOVER es biosoluble, sin riesgos para la salud y cuenta con certificación EUCEB y/o RAL.



Referencia de sostenibilidad en su proceso productivo

ISOVER convierte aproximadamente 1 m³ de materias primas en hasta aprox. 150 m³ de Lana Mineral. Los productos de aislamiento ISOVER ahorran hasta 250 veces la energía necesaria durante su producción.

En los últimos 20 años, ISOVER ha reducido en todo el mundo el consumo de energía en más del 20% y el consumo de agua en sus plantas de Lana de Vidrio en más del 30%. Más del 75% de los residuos de producción se recicla. Hasta el 80% del vidrio reciclado se utiliza como fuente de materia prima para la producción de Lana de Vidrio.

Las organizaciones ISOVER están certificadas según ISO 9001, la mayoría de sus plantas también están certificadas según ISO 14001 y se ha iniciado la certificación 50001.



2. Gama ISOVER TECH

2.1. Gama de productos europeos ISOVER TECH: para mejorar la eficiencia energética en la industria



ISOVER TECH representa la nueva gama de productos europeos armonizados y con el marcado CE para el aislamiento en industria con garantías técnicas excelentes y altas prestaciones.

Una (r)evolución en el aislamiento en industria: con la gama de productos TECH ISOVER se aleja de la especificación tradicional en industria indicando solo el peso, y se centra en valores basados en las prestaciones térmicas.

En consecuencia, cada producto de la gama ISOVER TECH resaltarán la clasificación de eficiencia energética y sostenibilidad junto con la máxima temperatura de funcionamiento. La indicación adicional de la forma del producto, los revestimientos y las aplicaciones especiales facilitarán la elección y la diferenciación entre productos y ayudarán a elegir el material correcto con las propiedades correctas.

ISOVER TECH Estructura de denominación europea para productos industriales

Ejemplo: **U TECH Wired Mat MT 6 .0 Alu1 X-X EX**

U
TECH
Wired Mat
MT
6
.0
Alu1
X-X
EX

1
2
3
4
5
6
7
8

1 **Indicación de material solo para ULTIMATE®**
 Marca de calidad para un alto rendimiento en temperaturas más altas.

2 **Grupo de productos TECH-ISOVER**
 Indica una gama de productos especialmente diseñados para todas las aplicaciones la industria.

3 **Formato de producto**
 Producto suministrado como: Mantas, Rollos, Coquillas, Paneles, Lana a granel

4 **Rango de temperatura de funcionamiento**
 Indicación de uso:

CRYOLENE para temperaturas criogénicas
Tech para temperaturas estándar hasta 400 °C
Tech MT para temperaturas medias-altas desde 400 °C hasta 680 °C
Tech HT para altas temperaturas ≥ 700 °C

5 **Clase de eficiencia energética**
 Indica el rendimiento térmico del producto a diferentes temperaturas.

6 **Versión del producto**
 Indica diferentes características de productos dentro de la misma clase de eficiencia energética

7 **Tipo de revestimiento**
 Indica producto con revestimiento adicional.
Alu1, Alu2 revestimiento de aluminio, producto clasificado No combustible A1, A2-s1, d0
V1, V2 recubrimiento de velo de color neutro o negro.
X, X-X manta armadacosida con alambre de acero inoxidable, o manta armada cosida con alambre de acero inoxidable y malla de acero inoxidable.

8 **Aplicaciones especiales**
QN Indica calidad especial para aplicaciones nucleares
EX Indica calidad especial para áreas de riesgo de explosión, p. Ej. manipulación de oxígeno líquido y requiere aislamiento con menos del 0.5% de contenido orgánico total (AGI-Q 118)

2.2. Las soluciones adecuadas para todas las temperaturas

ISOVER TECH le ofrece la más amplia gama de productos y materiales de Lana Mineral optimizada para todas las temperaturas de proceso, desde criogénica, estándar, temperatura media a alta hasta 700 °C. Aproveche las mejores ventajas de cada tipo de Lana Mineral que mejor se adapte a cada aplicación. Beneficiarse de una amplia selección de formatos de productos adaptados a la superficie de aislamiento.

Aislamiento temperaturas criogénicas	Temperaturas estándar, Aislamiento acústico	Alta temperatura, Aislamiento eficiencia/prestaciones mecánicas
- 200 °C	250 °C	400 °C
CRYOLENE	TECH Lana de Vidrio	U TECH ULTIMATE®/TECH Lana de Roca



ISOVER CRYOLENE y productos de Lana de Vidrio TECH

Las soluciones adecuadas para la criogenia y temperaturas estándar así como aislamiento acústico: Ligero, flexible y resistente.

- Excelente aislamiento térmico.
- Máxima ligereza.
- Fácil y rápida instalación.
- Protección efectiva al ruido.
- Protección efectiva contra fuego.
- Soluciones rentables.
- Ahorros en transporte y almacenamiento.
- Protección medioambiental activa.
- Máxima flexibilidad.
- Altas prestaciones mecánicas.



Lana de Roca ISOVER TECH productos

Las soluciones adecuadas para temperaturas medias a altas y demandas mecánicas de Alta resistencia a la compresión: robusto, económico y probado.

- Excelente aislamiento térmico.
- Máxima temperatura de servicio.
- Fácil y rápida instalación.
- Protección efectiva al ruido.
- Protección efectiva contra fuego.
- Soluciones económicamente rentables.
- Protección medioambiental.
- Altas prestaciones mecánicas.



ISOVER U TECH ULTIMATE® productos

Las soluciones adecuadas para unas prestaciones en más altas temperaturas combinando las ventajas de Lana de Vidrio y de la Lana de Roca: eficiente, ligero y ahorro de espacio.

- Hasta un 35% de mejora en prestaciones térmicas
- Hasta un 30% de ahorro de espesor de aislamiento.
- Hasta 50% de ahorro en peso.

- Excelente aislamiento térmico.
- Máxima temperatura de servicio.
- Solución de espesor reducido.
- Máxima ligereza.
- Fácil y rápida instalación.
- Protección efectiva al ruido.
- Protección efectiva contra fuego.
- Soluciones rentables.
- Ahorros en transporte y almacenamiento.
- Protección medioambiental activa.
- Máxima flexibilidad.

3. Materiales

3.1. Lana de Vidrio

El aislamiento de Lana de Vidrio ISOVER es ideal para muchas aplicaciones industriales de baja a media temperatura (hasta 400 °C), ya que combina altas prestaciones de aislamiento térmico con control de ruido, seguridad contra incendios, ligereza y rentabilidad.

Los productos de Lana de Vidrio ISOVER ofrecen aislamiento de última generación, constantemente mejorado y desarrollado por Saint-Gobain ISOVER durante más de 70 años para garantizar que brinden los niveles más altos de calidad y prestaciones, con docenas de nuevas patentes todos los años.

Fabricados a partir de materias primas naturales de origen local como la arena, hoy en día los productos de Lana de Vidrio ISOVER incluyen hasta 80% de vidrio reciclado, lo que los convierte en la opción perfecta para satisfacer los requisitos ambientales.

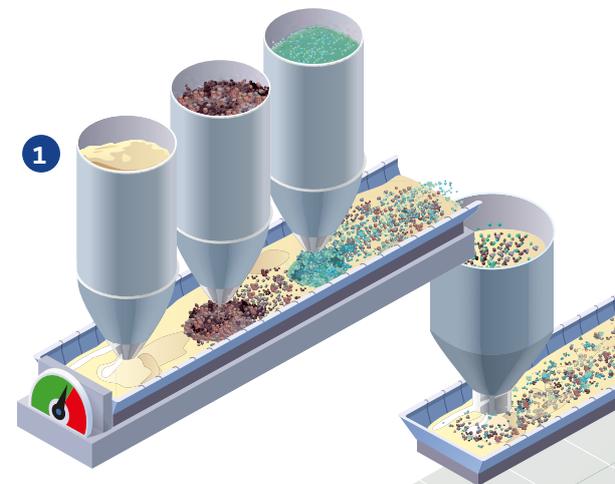
ISOVER ofrece una amplia gama de productos de Lana de Vidrio diseñados específicamente para el sector industrial. Estos productos brindan una combinación de beneficios importantes que incluyen flexibilidad y ligereza, así como una excelente optimización en el transporte y almacenaje, y además de una instalación rápida con menos juntas y, por lo tanto, menos puentes térmicos.

Solución completa adaptada a sus necesidades

Proceso de fabricación

1 Composición

La Lana de Vidrio está compuesta principalmente de arena, carbonato de sodio, piedra caliza y vidrios reciclados. Las materias primas se almacenan en silos, se pesan, mezclan y vierten automáticamente en el horno mediante un alimentador automático de lotes.



6 Embalaje / Paletización

El final de la línea generalmente está equipado con una máquina enrolladora y una máquina apiladora para paneles. La Lana de Vidrio se puede comprimir hasta una décima parte de su volumen, lo que reduce considerablemente los costes de transporte y almacenamiento, así como los desperdicios en obra. Más tarde, las unidades se reúnen en palés mejorando la eficiencia en las operaciones logísticas.

En un palé se pueden empaquetar 36 rollos de Lana de Vidrio.

2 Fusión

La fusión de la mezcla se obtiene a una temperatura superior a 1400 °C mediante horno eléctrico.

3 Fibrado TEL, encolado

A través de un alimentador, el vidrio fluye hacia la máquina de fibrado. Cuando fluye así, el vidrio alcanza la temperatura requerida para convertirse en fibras. La parte principal de la máquina de fibrado TEL es una centrifugadora giratoria que gira alrededor de un eje vertical. La banda de esta centrifugadora de acero refractario está perforada con una multitud de agujeros de aproximadamente 1 mm de diámetro cada uno. El vidrio se empuja centrifugamente a través de estos agujeros y se divide en una multitud de corrientes primarias. Un fuerte chorro de gases calientes conforma el estiramiento final de las fibras. Automáticamente se pulveriza un encolado sobre las fibras mediante boquillas de pulverización.

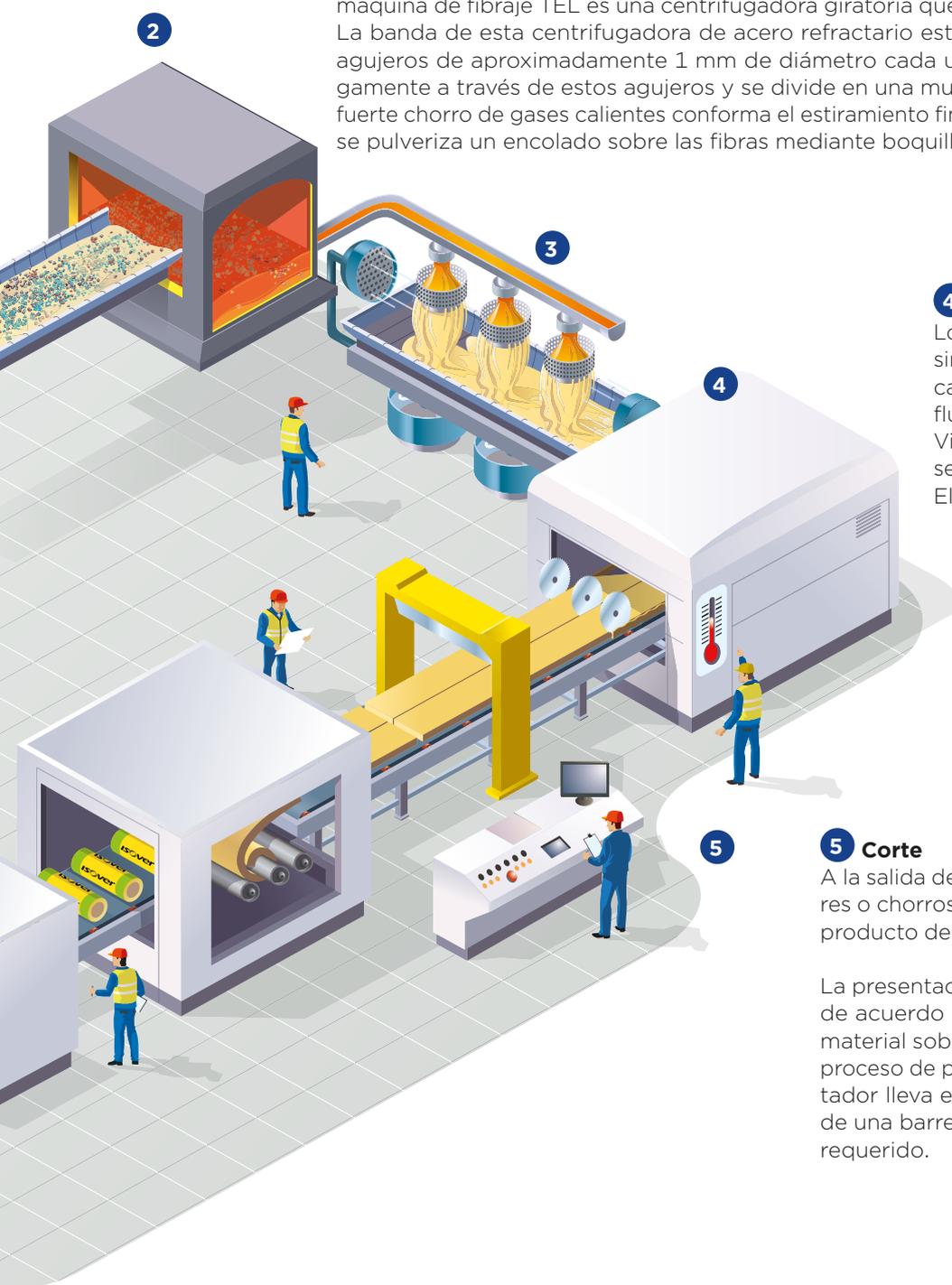
4 Formado, curado

Los productos impregnados con resinas se llevan a un horno de curado calentado a 250 °C. El aire caliente fluye a través del fieltro de Lana de Vidrio y mientras se curan las fibras, se proporciona una rigidez correcta. El encolado se torna amarillo.

5 Corte

A la salida del horno de curado, sierras circulares o chorros de agua a alta presión dividen el producto de acuerdo con su ancho comercial.

La presentación final varía de rollos a paneles, de acuerdo con la aplicación de uso final. El material sobrante por recortes se recicla en el proceso de producción. Más tarde, el transportador lleva el producto a la zona de adhesión de una barrera de vapor, u otro revestimiento requerido.



3.2. Lana de Roca

La Lana de Roca es ideal para muchas aplicaciones industriales estándar, ya que combina unas buenas prestaciones de aislamiento con un funcionamiento a alta temperatura.

Los productos de Lana de Roca ISOVER están hechos de roca volcánica, un material natural presente en grandes cantidades en toda la tierra. Las materias primas son 97% minerales e incluyen basalto, diabasas y distintas rocas ígneas, que se funden en un cubilote con agentes combustibles y fundentes. Más del 30% de residuos de Lana de Roca reciclada se agregan de nuevo a la mezcla en forma de briquetas.

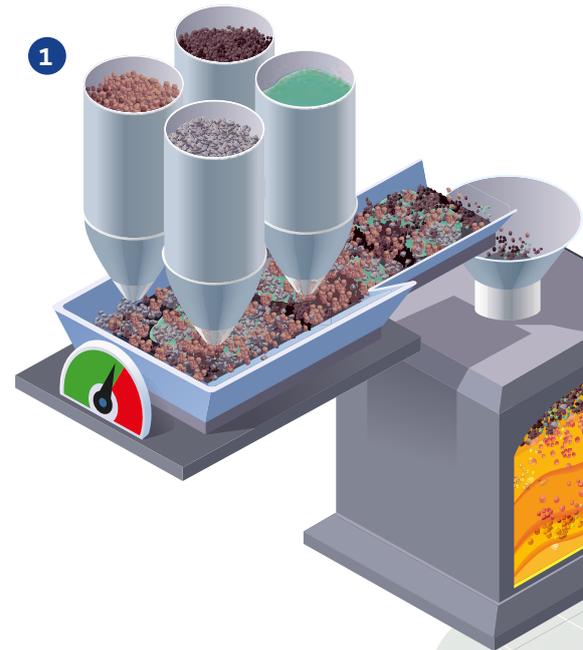
La Lana de Roca es ideal para muchas aplicaciones industriales estándar, ya que combina unas buenas prestaciones de aislamiento con un funcionamiento a alta temperatura (hasta 700 °C), baja compresibilidad y alta resistencia mecánica requerida para algunas aplicaciones. Son productos económicos que vienen en diferentes gamas de espesores y niveles de prestaciones térmicas para que se adapten a los diferentes requisitos necesarios.

Una solución sólida, diseñada para sus necesidades.

Proceso de fabricación

1 Composición

La Lana de Roca se compone principalmente de basalto, escoria y briquetas (Lana de Roca reciclada). Estas materias primas se almacenan en silos, se pesan y mezclan automáticamente con coque para formar un relleno que se coloca en el cubilote.



6 Embalaje / Paletización

Una vez fuera del horno, las sierras cortan la manta al ancho requerido. Los residuos de borde generados se reciclan durante el proceso de fabricación.

Más tarde, la manta de Lana de Roca se transporta hacia la zona donde los productos se revisten con un film de papel o aluminio, o una capa de oxiasfalto.

El final de la línea está equipado con una máquina de enrollar y una máquina de apilamiento y empaquetadora de paneles.

Los paquetes se almacenan en palets que facilitan la logística de manipulación, almacenamiento y carga en las unidades de transporte. El producto final está disponible en rollos o paneles.



2 Fusión

La fusión de esta mezcla se obtiene por combustión de carbón de coque en el cubilote alcanzándose una temperatura superior a 1.500 °C.

3 Fibraje REX/ Encolado

El fibraje se realiza proyectando vidrio fundido sobre rotores que giran a alta velocidad. Un encolado se rocía automáticamente en las fibras que son transportadas por un fuerte chorro de aire a la zona de recepción. Las fibras se colocan en una cámara de baja presión para formar una lámina primaria homogénea con bajo peso. Esta manta se transporta a la instalación de apilado.

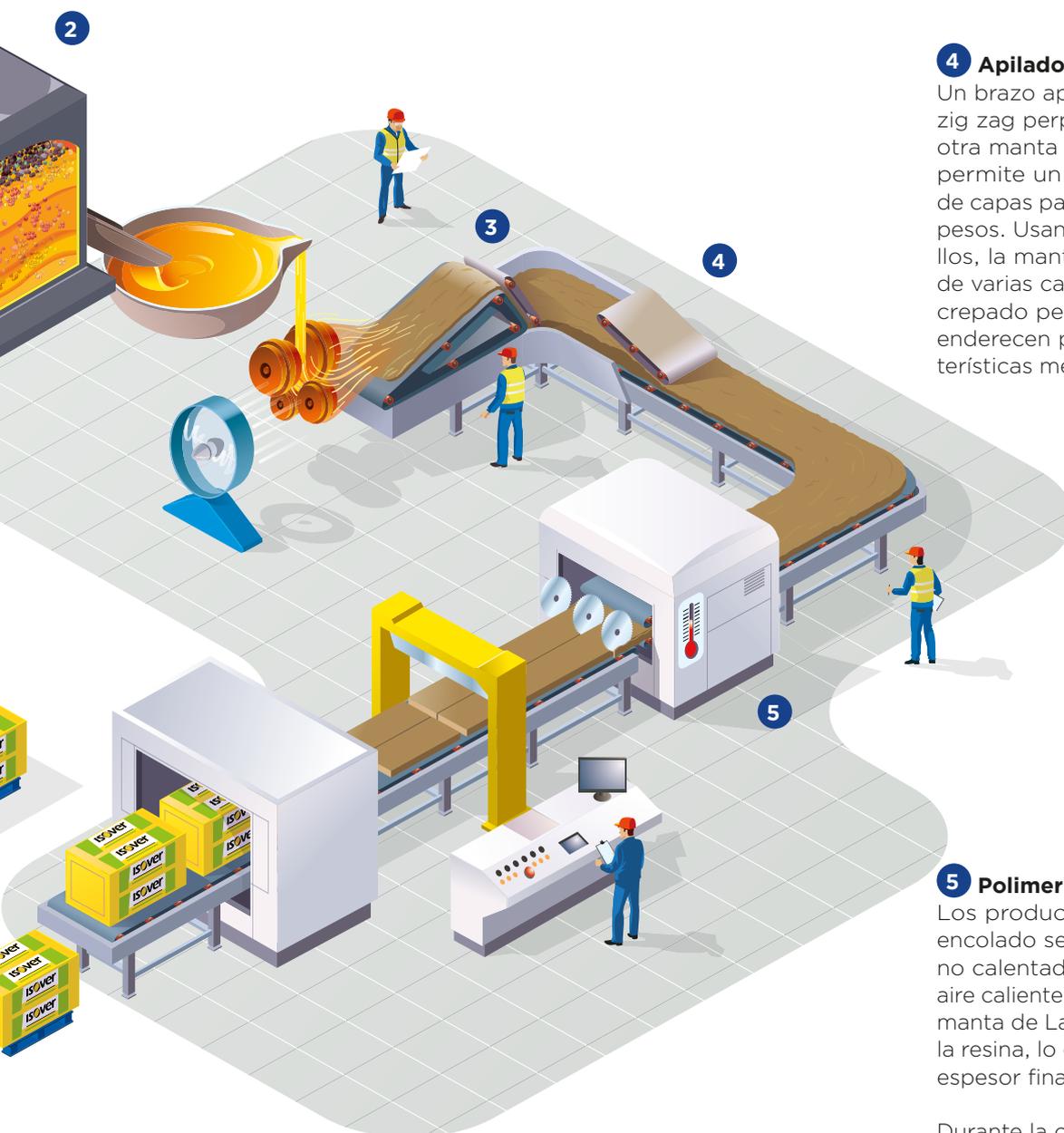
4 Apilado / Crepado

Un brazo apila la Lana de Roca en zig zag perpendicularmente sobre otra manta por debajo. El apilado permite un aumento del número de capas para una amplia gama de pesos. Usando un sistema de rodillos, la manta de lana, que consta de varias capas, es comprimida. El crepado permite que las fibras se enderecen para mejorar las características mecánicas.

5 Polimerización

Los productos impregnados con encolado se transportan a un horno calentado a más de 200 °C. El aire caliente que pasa a través de la manta de Lana de Roca polimeriza la resina, lo que le da a la manta su espesor final y consistencia.

Durante la operación de curado, la manta de Lana de Roca se torna de color ocre.



3.3. ULTIMATE®

ULTIMATE® es una innovadora Lana Mineral que combina los beneficios de las prestaciones de la Lana de Vidrio y de la Lana de Roca.

ULTIMATE® es una innovación sin precedentes en Lana Mineral, un material que realmente demuestra el liderazgo tecnológico de Saint-Gobain ISOVER en productos de aislamiento. Representa una generación completamente nueva de aislamiento para agregar a la amplia gama de lanas minerales, espumas y otros aislantes ahora disponibles de ISOVER en todo el mundo.

ULTIMATE® es un producto único e innovador que proporciona una combinación de sobresalientes beneficios para los clientes y que no están disponibles en ningún otro producto de aislamiento.

- Excelente rendimiento térmico y acústico.
- Máximas prestaciones en protección contra el fuego y alta temperatura de operación.
- Ahorro significativo de tiempo, espacio y peso.
- Excelente confort y seguridad.

Proceso de fabricación

ULTIMATE® se fabrica utilizando un proceso similar al utilizado para la Lana de Vidrio. Sin embargo, el desafío para el equipo de desarrollo era desarrollar un producto capaz de operar a temperaturas mucho más altas que los productos tradicionales de Lana de Vidrio. Esto se logró con un avance que involucró una nueva composición de vidrio patentada y una extensa reconversión del proceso básico de fabricación de Lana de Vidrio.

El proceso está completamente patentado.

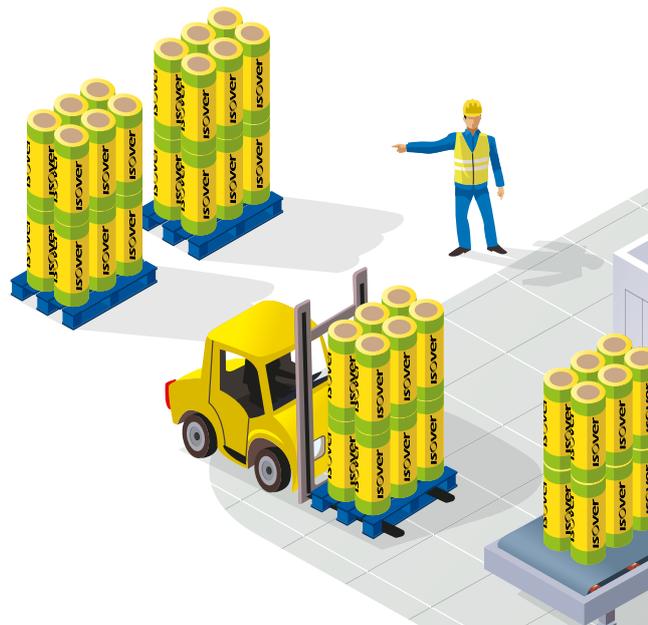
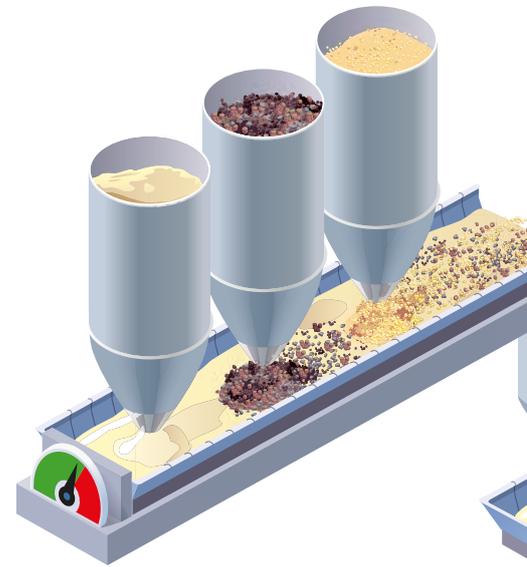
Con el fin de crear una Lana Mineral completamente nueva que combine el rendimiento a alta temperatura de Lana de Roca con los beneficios térmicos, acústicos y de bajo peso de la Lana de Vidrio, originalmente se pensó que la respuesta se encontraría en el desarrollo de los procesos de Lana de Roca. El resultado se alcanzó realmente desarrollando un nuevo producto a base de Lana de Vidrio con resistencia a temperaturas excepcionalmente altas.

Se hizo posible debido a dos desarrollos principales:

- En primer lugar, se tuvo que desarrollar un nuevo tipo de Lana de Vidrio, con una composición similar a la de la Lana de Roca. Además de cumplir con los exigentes criterios de prestaciones, también tenía que cumplir con los estándares europeos / nacionales sobre la biosolubilidad de las fibras en el cuerpo humano.
- En segundo lugar, se tuvieron que desarrollar nuevos procesos de fusión y fibraje a alta temperatura.

El nuevo proceso es similar al de la Lana de Vidrio, excepto que las temperaturas son unos 200 °C más altas, con vidrio en la máquina de fibraje alcanzando una temperatura de 1.200 °C.

Proceso de fabricación





4. Medio ambiente, salud y seguridad

4.1. Política de EHS de Saint-Gobain

Saint-Gobain diseña, fabrica y distribuye materiales, servicios y soluciones que son factores clave para nuestro bienestar sostenible. A través de nuestro compromiso con la excelencia ambiental, de salud y seguridad, afirmamos a todos nuestros grupos de interés, incluidos nuestros empleados, clientes, proveedores, accionistas y al público, que nuestro objetivo es trabajar en colaboración para brindar soluciones sostenibles, innovadoras y orientadas al mercado, mejorando la vida, haciéndola más segura y saludable para las personas en todo el mundo.

Creemos que cualquier daño, enfermedad profesional o accidente ambiental es inaceptable. La excelencia en medio ambiente, salud y seguridad está contribuyendo directamente a la mejora de las condiciones de trabajo, a la excelencia operativa y al bienestar de todos. Nuestro objetivo final es: cero accidentes laborales, cero enfermedades profesionales, cero accidentes ambientales y un impacto mínimo de nuestras actividades en el medio ambiente. Establecemos y mantenemos nuestros estándares y mejores prácticas a la luz de los avances en tecnología y ciencia, y apuntamos a una implementación amplia. Fortalecemos nuestros negocios al hacer que la seguridad, la salud y el medio ambiente sean centrales para nuestra cultura.

Evaluamos el impacto de cualquier lugar que proponemos construir o adquirir diseñamos y construimos todos nuestros emplazamientos, para que sean seguros y aceptables para el medio ambiente.

Analizamos continuamente nuestras prácticas, procesos y productos para minimizar sus riesgos e impactos ambientales, en salud y seguridad, para maximizar sus beneficios. Medimos e informamos regularmente nuestro progreso global en el cumplimiento de este compromiso.

4.2 Protección del medio ambiente

Proteger el medio ambiente en las operaciones del Grupo requiere un compromiso constante y una atención continua. Los equipos de Saint-Gobain se centran en lograr el objetivo de cero accidentes ambientales y un impacto mínimo en el medio ambiente.

Comprometidos a dar el ejemplo

Saint-Gobain trabaja para preservar el medio ambiente de los posibles impactos de sus procesos y servicios. Se han identificado cuatro prioridades para luchar contra el cambio climático:

- Evaluar y gestionar riesgos.
- Implementar las mejores técnicas y prácticas existentes.
- Innovar para inventar las mejores técnicas y prácticas futuras.
- Involucrar a los empleados a largo plazo en la protección del medio ambiente.

Se han desarrollado herramientas para ayudar a todos los emplazamientos del Grupo a progresar sobre la base de una metodología compartida.

Objetivos a largo plazo

- Cero accidentes ambientales,
- Impacto mínimo de las actividades de Saint-Gobain en el medio ambiente.

Grandes desafíos ambientales

Materias primas y residuos

Reducir los desperdicios es una prioridad para el Grupo. Además de recuperar sus propios residuos de producción, Saint-Gobain también utiliza materiales reciclados de fuentes externas, como el vidrio reciclado y la chatarra recuperada, para optimizar su consumo de materia prima. El método principal para reducir el consumo de recursos en hornos de vidrio es incluir el cullet (vidrio reciclado triturado) entre las materias primas.

Objetivo para 2025

- Reducir los desechos no recuperados en un 50% (base 2010),
- Objetivo a largo plazo: cero.

Energía, emisiones a la atmósfera y cambio climático

Objetivos

- Consumo de energía: -15% (2010-2025)
- Emisiones totales de CO₂: -20% (2010-2025)
- Emisiones de NO_x, SO₂ y polvo: -20% para cada categoría de emisiones (2010-2025)

El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero emitido por las actividades del Grupo. Se realizó una evaluación de carbono en 31 empresas de Saint-Gobain en Francia, que representan el 75% de la fuerza laboral total del Grupo, teniendo en cuenta las emisiones del uso de energía, los procesos, el transporte, los desplazamientos y viajes de negocios y la compra de materias primas.

Saint-Gobain ha participado en el Carbon Disclosure Project (CDP) desde 2003.

Agua

La política de agua de Saint-Gobain, publicada en 2011, se aplica a todos los emplazamientos del Grupo en todo el mundo. Confirma el compromiso del Grupo de reducir el impacto cuantitativo y cualitativo de sus actividades en los recursos hídricos tanto como sea posible, tanto en términos de captación como de descarga..

Desde 2012, el Grupo ha participado en el CPD Water Disclosure, que está diseñada para alentar a las empresas a producir un informe detallado de los riesgos y oportunidades en su gestión del agua y comunicar los resultados de manera transparente.

Objetivo para 2025

- Reducir el efluente industrial en un 80% (base 2010),
- Objetivo a largo plazo: cero.

Biodiversidad

Objetivo

Realizar estudios locales de biodiversidad para nuevos emplazamientos y canteras, restaurarlos en cooperación con las partes interesadas, teniendo en cuenta la biodiversidad local.

El Grupo opera 151 canteras subterráneas y a cielo abierto en todo el mundo. De estos, el 79% pertenecen a Gypsum Activity, que ha emitido una carta de biodiversidad para sus canteras. Las canteras del Grupo operan con el objetivo de preservar el medio ambiente, de conformidad con las regulaciones locales.

Se ha lanzado un programa de acción sobre biodiversidad a escala del Grupo para mejorar el conocimiento de los activos naturales de Saint-Gobain. Este método representa un primer paso en el desarrollo de una política interfuncional.

4.3. Certificación EUCEB



EUCEB (Junta Europea de Certificación para productos de Lana Mineral) es una iniciativa voluntaria de la industria de Lana Mineral. Es una autoridad de certificación que monitorea que los productos de Lana Mineral están hechos de fibras no

clasificadas según el Reglamento (CE) No 1272/2008. Para garantizar que las fibras cumplan con los criterios de la Nota Q, todas las pruebas y procedimientos de supervisión son realizados por expertos e instituciones independientes y calificados.

Los compromisos de los fabricantes para obtener sus productos con certificación EUCEB son los siguientes:

- Proporcionar informes de prueba de un laboratorio reconocido por EUCEB que justifique que las fibras cumplen con uno de los criterios de la Nota Q del Reglamento (CE) No 1272/2008.
- Para someterse a inspección de conformidad al menos dos veces al año por institutos independientes reconocidos por EUCEB: muestreo de productos y análisis químico que debe ser similar al de las fibras probadas.
- Tener controles internos de calidad en las plantas.

4.4. Hoja de de datos de seguridad

El Reglamento Europeo (ER) sobre Productos Químicos N ° 1907/2006 (REACH) aplicado el 1 de junio de 2007 requiere la Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS) solo para sustancias y mezclas / preparaciones peligrosas. Los productos de Lana Mineral (paneles o rollos) son artículos bajo REACH y, por lo tanto, no se requiere legalmente MSDS. Sin embargo, Saint-Gobain ISOVER decide proporcionar a sus clientes la información adecuada para garantizar una manipulación y uso seguro de la Lana Mineral a través de esta Hoja de datos de seguridad

Por lo tanto, hay disponibles hojas de datos de seguridad y se dan recomendaciones a los usuarios respecto a la instalación de los productos aislantes.

Los siguientes parámetros se pueden encontrar en la Hoja de instrucciones de uso seguro:

- Identificación de riesgos.
- Composición / información sobre composición.
- Medidas de primeros auxilios.
- Medidas de lucha contra fuego.
- Medidas de vertido accidental.
- Manipulación y almacenamiento.
- Controles de exposición / protección personal.
- Propiedades físicas y químicas.
- Estabilidad y reactividad.
- Información Toxicológica.
- Información ecológica.
- Consideración sobre residuos.
- Información de transporte.
- Información reglamentaria.

4.5. Declaración ambiental de producto (EPD)



Una Declaración de Producto Ambiental describe el desempeño ambiental de un producto y alienta el desarrollo de una construcción saludable y amable con el medio ambiente.

Esta declaración se basa en un análisis del ciclo de vida del producto durante toda su vida útil y proporciona indicadores de acuerdo con la norma EN 15804 "Sostenibilidad de las obras de construcción - Declaraciones ambientales de productos - Reglas básicas para la categoría de productos de construcción" y reglas específicas de categorías de productos para materiales aislantes de Lana Mineral.

Para las aplicaciones de industria, esta declaración contiene una definición del producto, información sobre los materiales básicos y la fuente de los materiales,

descripciones sobre la producción del material, información sobre el procesamiento del material y sobre el estado de uso, los impactos extraordinarios y la fase posterior a su utilización.

Se ayuda a los usuarios conociendo el producto y calculando los impactos en cada parte del ciclo de vida del producto.

ISOVER ha implementado durante muchos años planes de acción para reducir y limitar la necesidad de recursos naturales, particularmente agua y energía, necesarios para la fabricación de sus productos. Nos esforzamos por proporcionar a nuestros clientes productos y soluciones que ayuden a reducir el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.



5. Estándares para aplicaciones industriales

5.1. Organismos de normalización

Dependiendo del tipo de estandarización, los organismos de normalización desarrollan estándares a nivel nacional, europeo e internacional.



5.1.1. Comité europeo de normalización

CEN es el Comité Europeo de Normalización creado en 1961, originalmente por los organismos de normalización de Francia, Alemania y Benelux, y con el objetivo de armonizar las normas desarrolladas en los diferentes países europeos. El CEN se ha ampliado hoy a todos los países miembros de la Unión Europea con un organismo nacional de normalización, así como a los 3 países de la AELC, la Asociación Europea de Libre Comercio (Islandia, Noruega, Suiza). Recientemente, países como Croacia, Turquía o la República de Macedonia del Norte también se han unido al CEN.

Este trabajo de estandarización europeo consiste en elaborar estándares europeos, pero también actualizarlos en los 3 idiomas oficiales: inglés, alemán y francés.

Los estándares europeos, reconocibles por el prefijo EN que los introduce, son elaborados por el CEN y publicados de forma nacional en las colecciones normativas de los miembros con supresión de estándares contradictorios.

En algunos casos, las llamadas normas europeas "armonizadas" también permiten a los actores aplicar la legislación europea; se citan en la Directiva correspondiente en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE). Estas directivas europeas "New Approach Directives" definen los requisitos esenciales que todos los productos deben cumplir antes de ser comercializados en el mercado europeo.

Para la industria de los productos de aislamiento, el documento de referencia es, desde el 1 de julio de 2013, y de aplicación obligatoria, el Reglamento de Productos de Construcción (RPC) para la implementación del mercado CE de los productos de construcción, derogando la Directiva 89 / 106 / EEC Productos de construcción (CPD).

Esta norma europea armonizada tiene un Anexo ZA que contiene todas estas indicaciones: usos previstos, declaración de prestaciones, sistema de evaluación y verificación de la constancia de prestaciones.



5.1.2. Organización internacional para la estandarización

Fundada en 1947, ISO es una organización no gubernamental independiente, compuesta por miembros de organismos nacionales de normalización. Su secretaría tiene sede en Ginebra y coordina todos los trabajos.

ISO desarrolla estándares voluntarios a nivel mundial para productos, servicios y buenas prácticas, establecidos en el marco de un consenso global, permitiendo así la eficiencia de todos los sectores económicos y la eliminación de todos los obstáculos relacionados con el comercio internacional.



5.1.3. ASTM International

Anteriormente conocida como American Society for Testing and Materials, es una organización internacional de estándares, que desarrolla y publica normas técnicas de consenso voluntario para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios.

Fundada en 1898 como la Sección Estadounidense de la Asociación Internacional para la Prueba de Materiales, ASTM International es anterior a otras organizaciones de estándares como BSI (1901), IEC (1906), DIN (1917), ANSI (1918), AFNOR (1926) y ISO (1947).



5.1.4. CINI Norma Internacional para Aislamiento Industrial

En todo el mundo, el estándar de CINI (Comité de aislamiento industrial) se utiliza cuando se diseñan, se instalan y se realizan trabajos de aislamiento térmico. CINI se estableció el 28 de julio de 1989 y ha evolucionado para convertirse en el instituto de estandarización para el aislamiento en el campo de la industria petroquímica, industria de procesos, plantas de energía, terminales de GNL, etc. CINI actúa como el punto focal de aislamiento para los directores, compañías de aislamiento, proveedores de materiales, consultores, organizaciones filiales, institutos de capacitación y también organizaciones gubernamentales como el Ministerio de Asuntos Económicos.

5.2. Otras especificaciones técnicas, guías



5.2.1. AGI

Hoja de trabajo Q132 sobre Lana Mineral como material aislante para instalaciones industriales

Este documento de trabajo se aplica a los productos de Lana Mineral que se utilizan para el aislamiento térmico, frío y acústico de instalaciones técnicas en la industria y en los equipos de construcción. En el anexo A se dan explicaciones sobre la producción de Lana Mineral.

Este documento no se aplica a los productos fabricados de fibras cerámicas o de fibras de silicato de calcio-magnesio. (Fibras CMS).

En diciembre de 2016, el Arbeitsgemeinschaft Industriebau eV (AGI) publicó la hoja de trabajo AG13 Q132 "Materiales aislantes para instalaciones técnicas - Lana Mineral" en una versión recientemente revisada. Describe en detalle los materiales de aislamiento de Lana Mineral que se utilizan para el aislamiento térmico, frío y acústico de instalaciones industriales y en los equipos técnicos de construcción. Se describen los formatos de entrega, las sustancias, los requisitos para el aislamiento de Lana Mineral, las marcas, las pruebas y el control de calidad.

Índice AGI para materiales aislantes de Lana Mineral

Para los materiales aislantes, la introducción de las normas EN en el contexto del mercado CE ha definido la especificación de las características esenciales en la etiqueta y en la declaración de prestaciones (DoP) del fabricante. La hoja de trabajo complementa esta clave de designación para los productos correspondientes de acuerdo con el punto 6 de EN 14303 con el "número de código AGI". Contiene las siguientes propiedades de material adicionales: la densidad aparente, necesaria para determinar la carga, por ejemplo, para el diseño de soportes de tubería, la curva límite de la conductividad térmica, por ejemplo, para el cálculo de los espesores de aislamiento, y la longitud relacionada resistencia al flujo, por ejemplo, para la estimación de convección y propiedades acústicas.



Directriz VDI 2055 Parte 1: Procedimientos de cálculo para un efectivo aislamiento en la protección contra el calor y el frío

Directriz VDI 2055 Parte 1: Procedimientos de cálculo para un efectivo aislamiento en la protección contra el

calor y el frío, no solo en tuberías, conductos, tanques, equipos y máquinas, sino también en instalaciones de almacenamiento en frío. Define procedimientos para calcular los flujos de calor y difusión en materiales aislantes y determina los espesores de las capas aislantes de acuerdo con los puntos de vista técnicos y económicos.

Se ha agregado una cantidad considerable de material nuevo a la nueva guía. Aislamiento térmico de instalaciones operativas con calefacción y refrigeración en la industria y servicios de construcción; reglas de cálculo en comparación con la antigua edición de 1994. Proporciona instrucciones precisas para calcular la conductividad térmica operativa del aislamiento, con inclusión particular de humedad y convección. Además, especifica valores de referencia y funciones de temperatura para la conductividad térmica de diferentes grupos de material aislante y las formas en que se suministra. La directriz ahora incluye no solo procedimientos de cálculo en condiciones de humedad y con aislamiento a baja temperatura, sino también métodos de cálculo simplificados para la pérdida de calor de tuberías en suelos y paredes en el sector de la construcción. La directriz también se ocupa de los procedimientos de cálculo para puentes térmicos relacionados con el aislamiento y permite determinar espesores de capas aislantes económicamente eficientes de aislamiento multicapa. Los símbolos utilizados en la guía en su mayor parte se ajustan a la estandarización europea. La directriz VDI 2055 Parte 1 está dirigida a ingenieros de diseño que buscan una solución eficiente de diseño para su solución de aislamiento, para fabricantes de materiales aislantes y también para organismos de inspección y monitoreo.

Esquema europeo VDI de AISLAMIENTO para productos de aislamiento térmico

El propósito del documento es establecer métodos para calcular las tasas de flujo de calor, dimensionar la capa aislante desde el punto de vista de consideraciones operativas y económicas, demostrando desde un punto de vista técnico que se cumplen las garantías y las condiciones técnicas de los suministros y servicios.

Los materiales de aislamiento para la industria y las instalaciones industriales en edificios deben cumplir requisitos adicionales como base para el diseño. VDI introdujo la certificación de aislamiento industrial de acuerdo con la norma VDI 2055 en 1990 con los elementos centrales de control de terceros de las propiedades enumeradas en la hoja de datos del producto y el control de producción en fábrica.

Ahora estos productos de acuerdo con las normas EN 14303 a EN 14309, EN 14313 y EN 14314 deben ser etiquetado con Keymark, la marca VDI o con ambas marcas.

El QAC ha establecido que es un sistema voluntario, que verifica la conformidad de los productos con todas las declaraciones en las hojas de datos del producto de los fabricantes y certifica la conformidad con un certificado.

Las pruebas son realizadas por organismos acreditados independientes de prueba y supervisión (laboratorio de pruebas registrado) al menos una vez al año. La evaluación de la conformidad la realiza un organismo de certificación acreditado independiente.

5.3. Propiedades relevantes para un producto de aislamiento

Todas las propiedades relevantes para un producto de aislamiento se describen en los estándares de métodos de prueba para:

- Prestaciones térmicas: conductividad térmica.
- Reacción al fuego: respuesta de un producto que contribuye, por su propia descomposición, a un fuego al que está expuesto, bajo condiciones específicas.
- Contribución al fuego: energía liberada por un producto que influye en el crecimiento del fuego, tanto en situaciones previas como posteriores a la descarga.
- Valores de compresión.
- Temperatura máxima de servicio.
- Comportamiento del agua: absorción de agua líquida, estanqueidad/absorción de vapor (agua).
- Comportamiento químico
- Otros (acústicos, etc.)

5.4. Lista de normas y documentos de referencia aplicables

5.4.1. Norma armonizada

EN 14303: Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de Lana Mineral (MW). Especificación. Especificaciones de las características de los productos de Lana Mineral, incluidos todos los procedimientos de prueba, evaluación de conformidad, marcado y etiquetado.

Los usos previstos del producto de Lana Mineral son para el aislamiento térmico de equipos de construcción e instalaciones industriales con un rango de temperatura de funcionamiento de aproximadamente 0 °C a +800 °C.

5.4.2. Estándares internacionales.

Métodos de ensayo

Propiedades térmicas

ISO 10456: Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.

Se proporcionan métodos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño, se proporcionan valores de diseño tabulados que cubren la temperatura ambiente de diseño entre -30 °C y +60 °C.

Los coeficientes de conversión para temperatura y humedad, son válidos para temperaturas medias entre 0 °C y 30 °C.

ISO 13787: Productos aislantes térmicos para equipamiento de edificios e instalaciones industriales. Determinación de la conductividad térmica declarada.

Procedimiento para determinar y verificar la conductividad térmica declarada en función de la temperatura de los materiales y productos aislantes térmicos.

Método opcional para establecer la curva o tabla de conductividad térmica a partir de los valores medidos. En el anexo B (informativo).

5.4.3. Normas europeas

Propiedades

EN 826: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento a compresión.

Se describe el equipo y los procedimientos para determinar la tensión de compresión de los productos de aislamiento térmico que solo están expuestos a cargas de pequeña duración.

EN 1609: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial.

Se describe el equipo y los procedimientos para determinar la absorción de agua a corto plazo para productos aislantes térmicos.

EN 13468: Productos aislantes térmicos para equipos de edificación e instalaciones industriales. Determinación de trazas de cloruros, fluoruros, silicatos e iones de sodio solubles en agua y del pH.

Describe el equipo y los procedimientos para determinar cantidades traza de iones de cloruro, fluoruro, silicato e sodio solubles en agua en un extracto acuoso del producto.

También se describe un procedimiento para la determinación del pH del extracto acuoso.

Prestaciones térmicas

ISO 8497: Aislamiento térmico. Determinación de las propiedades relativas a la transmisión de calor en régimen estacionario en los aislamientos térmicos para tuberías.

Se describe un método para la determinación de las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario de los aislamientos térmicos para tuberías circulares que generalmente funcionan a temperaturas superiores al ambiente.

EN 12667: Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.

Se describen los principios y procedimientos de ensayo para determinar la resistencia térmica mediante la placa caliente protegida o mediante los métodos del medidor de flujo de calor, aplicables para productos que tienen una resistencia térmica de no menos de $0,5 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$.

Temperatura máxima de servicio

EN 14706: Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de la temperatura máxima de servicio.

Se describen el equipo y los procedimientos para determinar la temperatura máxima de servicio de los productos de aislamiento.

EN 14707: Productos aislantes térmicos para equipamiento de edificación e instalaciones industriales. Determinación de la temperatura máxima de servicio para coquillas aislantes preformadas.

Se describen el equipo y los procedimientos para determinar la temperatura máxima de servicio para el aislamiento con coquillas aislantes preformadas para tuberías.

Reacción al fuego

EN 13501-1: Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de productos de construcción y elementos para la construcción Parte 1: clasificación utilizando datos de ensayos de reacción al fuego.

El procedimiento de clasificación de reacción al fuego se describe para todos los productos de construcción y elementos para la edificación de acuerdo con su aplicación de uso final.

5.4.4. ASTM

Especificaciones y propiedades

ASTM E84: Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.

Comportamiento de la propagación de la llama de superficie en los materiales de construcción, aplicable para superficies expuestas como paredes y techos.

ASTM C167: Standard Test Methods for Thickness and Density of Blanket or Batt Thermal Insulations.

Determinación del espesor y la densidad para productos de aislamiento térmico con o sin recubrimiento o refuerzo de la superficie.

ASTM C177: Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.

Requisitos que debe cumplir la medición de laboratorio del flujo de calor en estado estable a través de propiedades de transmisión plana y térmica utilizando el aparato de placa caliente protegida.

ASTM C335: Standard Test Method for Steady-State Heat Transfer Properties of Pipe Insulation.

Requisitos para medir las propiedades de transferencia de calor en estado estacionario de los aislamientos de tuberías.

ASTM C356: Standard Test Method for Linear Shrinkage of Preformed High-Temperature Thermal Insulation Subjected to Soaking Heat.

Requisitos para determinar la cantidad de contracción lineal y otros cambios que ocurren cuando un material aislante térmico preformado se expone al calor de remojo a una temperatura aplicable a temperaturas del lado caliente superiores a $66 \text{ }^\circ\text{C}$.

ASTM C411: Standard Test Method for Hot-Surface Performance of High-Temperature Thermal Insulation.

Requisitos para determinar las prestaciones de los productos de aislamiento térmico cuando se exponen a condiciones de superficie caliente.

ASTM C447: Método estándar para estimar la temperatura máxima de uso de aislamientos térmicos.

Estimación de la temperatura máxima de uso de los productos de aislamiento térmico, proporciona criterios de prestaciones y propiedades de caracterización durante y después de las condiciones de uso.

ASTM C547: Standard Specification for Mineral Fiber Pipe Insulation.

Aislamiento de tuberías en Lana Mineral y ofrece una clasificación en cinco tipos de acuerdo con el método de clasificación utilizado y las temperaturas de funcionamiento, y otorga dos grados según los requisitos de calentamiento.

Existen requisitos para los valores de prestaciones de la superficie caliente, contenido no fibroso, temperatura de uso, resistencia a la flacidez, contracción lineal, absorción de vapor de agua, características de combustión superficial, conductividad térmica aparente y temperatura media.

ASTM C592: Standard Specification for Mineral Fiber Blanket Insulation and Blanket-Type Pipe Insulation (Metal-Mesh Covered) (Industrial Type).

Esta especificación es aplicable al aislamiento de mantas de Lana Mineral y al aislamiento de tuberías de tipo manta y proporciona requisitos sobre revestimientos, mallas metálicas, comportamiento de reacción al fuego y aislamiento térmico.

ASTM C612: Standard Specification for Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation.

Esta especificación es aplicable al aislamiento térmico de bloques y paneles de Lana Mineral y proporciona requisitos de acuerdo con las propiedades del producto aislante térmico: resistencia a la compresión, contracción lineal, absorción de vapor de agua, emisión de olores, comportamiento de reacción al fuego y aislamiento térmico.

ASTM C692: Standard Test Method for Evaluating the Influence of Thermal Insulations on External Stress Corrosion Cracking Tendency of Austenitic Stainless Steel.

Este método de prueba describe dos procedimientos para evaluar la contribución de un producto aislante térmico al debilitamiento por corrosión bajo tensión externa del acero inoxidable austenítico debido a cloruros solubles dentro del aislamiento.

ASTM C795: Standard Specification for Thermal Insulation for Use in Contact with Austenitic Stainless Steel.

Esta especificación es aplicable para el uso de aislamiento térmico en contacto con tuberías y equipos de acero inoxidable austenítico. La prueba de corrosión y el análisis químico se realizarán para cumplir con los requisitos especificados.

ASTM C1104: Standard Test Method for Determining the Water Vapor Sorption of Unfaced Mineral Fiber Insulation.

Requisitos para determinar la cantidad de vapor de agua absorbido por el aislamiento de Lana Mineral expuesto a una atmósfera de alta humedad, aplicable al material base fibroso y encolado.

ASTM C1338: Standard Test Method for Determining Fungi Resistance of Insulation Materials and Facings.

Requisitos para determinar la capacidad de los nuevos materiales de aislamiento y sus revestimientos para resistir el crecimiento de hongos.

ASTM C1393: Standard Specification for Perpendicularly Oriented Mineral Fiber Roll and Sheet Thermal Insulation for Pipes and Tanks.

Aplicable al aislamiento térmico de bloques y paneles de Lana Mineral, y proporciona requisitos de acuerdo con las propiedades del producto aislante térmico: resistencia a la compresión, contracción lineal, absorción de vapor de agua, emisión de olores, comportamiento de reacción al fuego y aislamiento térmico.

Esta especificación es aplicable al aislamiento térmico de mantas y rollos de Lana Mineral con orientación perpendicular para su uso en superficies planas, curvas o redondas de tuberías y tanques.

El aislamiento térmico se clasifica según la temperatura máxima de uso, la conductividad térmica aparente máxima y según la resistencia a la compresión

Deben cumplirse los requisitos sobre valores de corrosividad para el acero, corrosión bajo tensión para acero inoxidable austenítico, contenido de infibrados, temperatura máxima de uso, y resistencia a la compresión.

5.4.5. Otras normas

Ejecución (estándar español)

UNE 92330: Criterios de instalación del aislamiento térmico en instalaciones industriales de tuberías, equipos, tanques, conductos y superficies calientes, cuyo rango de temperatura sea de 0 °C hasta 700 °C.

Esta norma proporciona los criterios de instalación de aislamiento térmico sobre superficies calientes en instalaciones industriales y equipos en la edificación con temperaturas de operación cuyo rango de temperaturas sea de 0 °C hasta 700 °C.

Ejecución (estándar alemán)

DIN 4140: Insulation work on industrial installations and building equipment - Execution of thermal and cold insulation.

Se describen los trabajos de aislamiento en instalaciones industriales para sistemas de producción y distribución, por ejemplo, equipos, contenedores, columnas, tanques, generadores de vapor, tuberías, calefacción y refrigeración, ventilación, aire acondicionado, sistemas de agua fría y caliente.

Normas de gestión de calidad (norma internacional)

EN ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad - Requisitos

Los requisitos para un sistema de gestión de calidad se describen cuando una organización:

1. necesita demostrar su capacidad para proporcionar constantemente productos y servicios que cumplan con los requisitos legales y reglamentarios aplicables del cliente, y
2. tiene como objetivo mejorar la satisfacción del cliente a través de la aplicación efectiva del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y la garantía de conformidad con el cliente y los requisitos legales y reglamentarios aplicables.

Métodos de calculo

ISO 12241: Aislamiento térmico para equipos de edificación e instalaciones industriales. Método de cálculo.

ISO 23993: Productos de aislamiento térmico para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de los valores de diseño de la conductividad térmica.

ASTM C680: Standard Practice for Estimate of the Heat Gain or Loss and the Surface Temperatures of Insulated Flat, Cylindrical, and Spherical Systems by Use of Computer Programs

VDI 2055: Thermal insulation for heated and refrigerated industrial and domestic installations - Calculations, guarantees, measuring and testing methods, quality assurance, supply conditions.

Documentos de trabajo

AGI Q 132: Mineral Wool Insulation Material For Industrial Installations.

CINI

CINI 2.1.01: Glass wool (GW) slabs for the thermal insulation of equipment.

CINI 2.1.03: Glass wool (GW) sections and prefabricated elbows for the thermal insulation of pipes.

CINI 2.1.05: Glass wool (GW) lamella mats for the thermal insulation of air ducts, pipe bundles and equipment.

CINI 2.2.01: Rock wool (RW) slabs for the thermal insulation of equipment.

CINI 2.2.02: Rock wool (RW) wire mesh blankets for the thermal insulation of equipment.

CINI 2.2.03: Rock wool (RW) sections and prefabricated elbows for the thermal insulation of equipment.

CINI 2.2.05: Rock wool (RW) lamella mats for the thermal insulation of air ducts, pipe bundles and equipment.

2. Teoría del Aislamiento Térmico





1. Conceptos fundamentales 42

- 1.1. Termodinámica y transmisión de calor 42
- 1.2. Mecanismos de transmisión de calor 42
 - 1.2.1. Por conducción 43
 - 1.2.2. Por convección 44
 - 1.2.3. Por radiación 45
- 1.3. Transmisión superficial de calor 46
 - 1.3.1. Parte convectiva del coeficiente de superficie, h_{cv} 46
 - 1.3.2. Parte radiativa del coeficiente de superficie, h_r 49
 - 1.3.3. Aproximación para el cálculo del coeficiente superficial de transmisión de calor interior h_i 49
 - 1.3.4. Aproximación para el cálculo del coeficiente superficial de transmisión de calor exterior h_e 49
- 1.4. Transmisión de calor por conducción en régimen estacionario 50
 - 1.4.1. En paredes planas 50
 - 1.4.2. En cilindros y esferas 59
 - 1.4.3. En secciones rectangulares 69
- 1.5. Transmitancia térmica 71

2. Distribución de temperaturas 74

- 2.1. Temperaturas intermedias 74
- 2.2. Temperatura superficial 76

3. Prevención de condensación superficial 77

4. Aplicaciones especiales 78

- 4.1. Cambio de temperatura longitudinal en una tubería 78
- 4.2. Cambio de temperatura y tiempo de enfriamiento en acumuladores y depósitos 80
- 4.3. Cálculo del tiempo de enfriamiento y congelación de líquidos en reposo 80
- 4.4. Tuberías enterradas 83

5. Puentes térmicos 84

- 5.1. Conductividad térmica media 84
- 5.2. Conductividad térmica de diseño 84
 - 5.2.1. Factor de corrección F 84
 - 5.2.2. Incrementos de λ ($\Delta\lambda$) 86

6. Reglas generales relacionadas con la instalación 87

- 6.1. Longitudes equivalentes 87
- 6.2. Pérdidas energéticas en soportes y cuelgues 87

Aislamiento térmico

1. Conceptos fundamentales

1.1. Termodinámica y transmisión de calor

La transferencia de calor es el intercambio de energía que tiene lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura.

La termodinámica indica que esa transferencia de energía se define como calor. La transferencia de calor pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia. El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia del calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica. La termodinámica trata sistemas en equilibrio; puede usarse, para predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema desde un estado de equilibrio a otro; no puede usarse, en cambio, para predecir lo rápido que será el cambio, ya que el sistema no está en equilibrio durante el proceso. La transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica, al

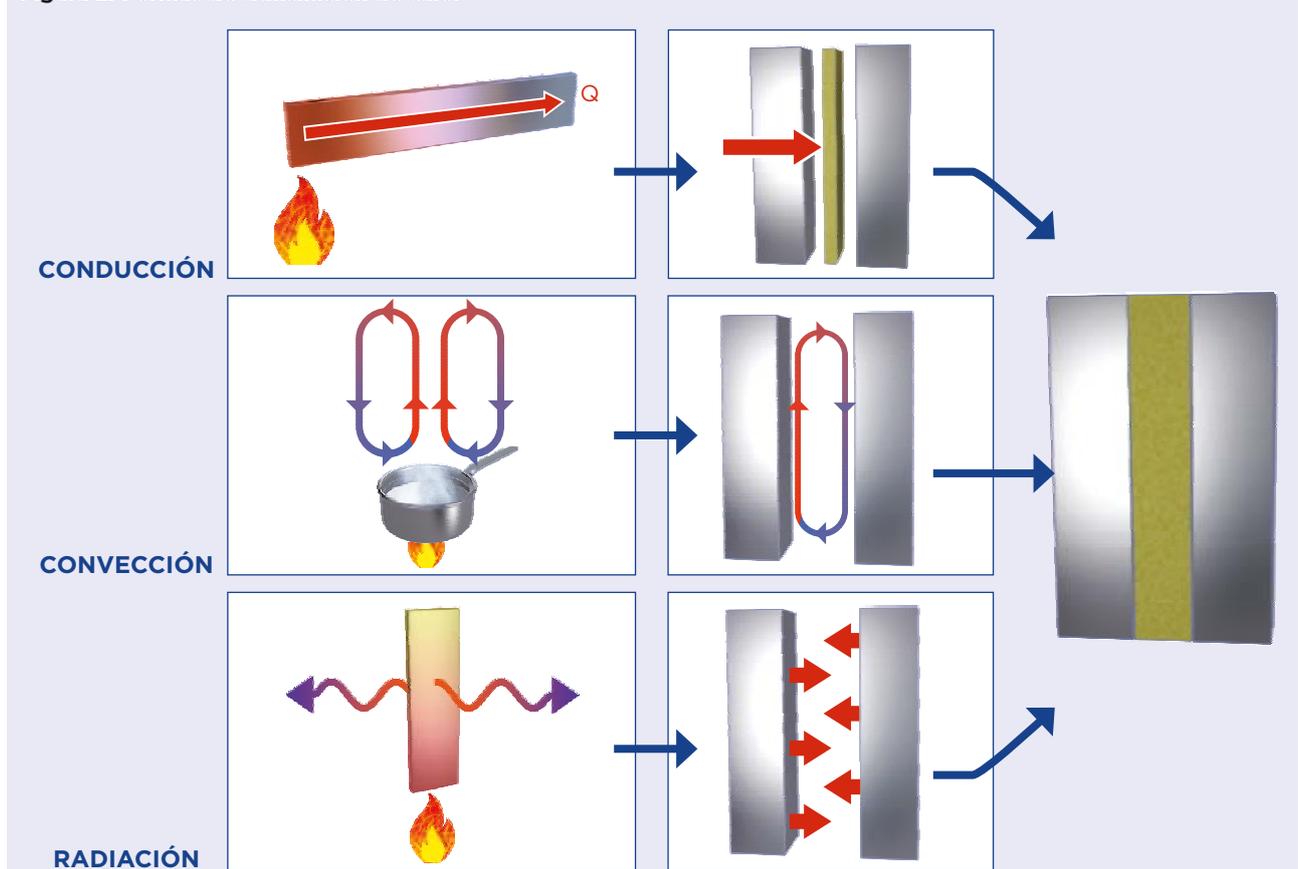
proporcionar leyes experimentales usadas como base para la transferencia de calor son bastantes simples y fácilmente extensibles, de modo que abarcan gran variedad de situaciones prácticas.

El requerimiento imprescindible para que se produzca transferencia de calor es una diferencia de temperatura, siendo ésta su motor. Nunca existirá transferencia neta de calor entre dos sistemas que están a la misma temperatura. Además, siempre que un cuerpo está a temperatura diferente a la del medio o a la de otro cuerpo, siempre existe transferencia de calor entre el cuerpo y el medio hasta que se llegue al equilibrio térmico.

1.2. Mecanismos de transmisión de calor

El calor se transfiere de tres formas diferentes: por conducción, por convección y por radiación (Ver figura 1). En los tres casos es necesaria una diferencia de temperatura y la transferencia de calor siempre se produce de la zona de mayor a menor temperatura.

Figura 1. Formas de transmisión de calor



1.2.1. Por conducción

En los sólidos la única forma de transferencia de calor es por conducción. Cuando en un cuerpo existe una diferencia de temperatura (gradiente), hay una transferencia de energía desde la zona de alta temperatura hacia la zona de baja temperatura. En este caso la energía se transfiere por conducción y el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$[2.1] \quad \frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

Cuando se introduce la constante de proporcionalidad, se obtiene la ley de Fourier de conducción de calor, que se define como:

$$[2.2] \quad q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

Donde:

q Flujo de calor (W/m^2).

$\frac{\partial T}{\partial x}$ Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor (K/m)

λ Conductividad térmica del material, que es la medida de la capacidad de un material para conducir el calor. ($W/m \cdot K$)

El signo negativo corresponde al segundo principio de la termodinámica, es decir, el calor debe fluir hacia las temperaturas decrecientes como se indica en el sistema de coordenadas de la Gráfica 1.

Gráfica 1. Representación $T(x)$.

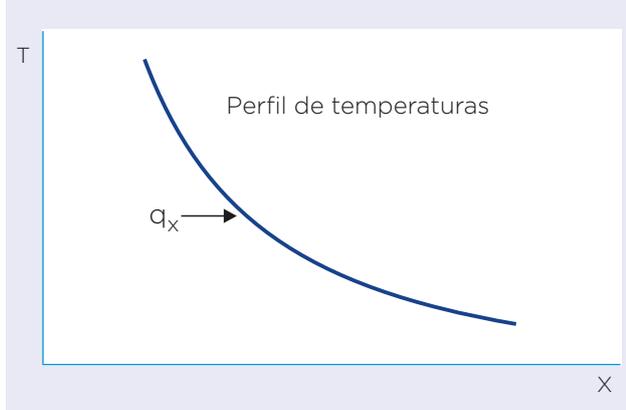
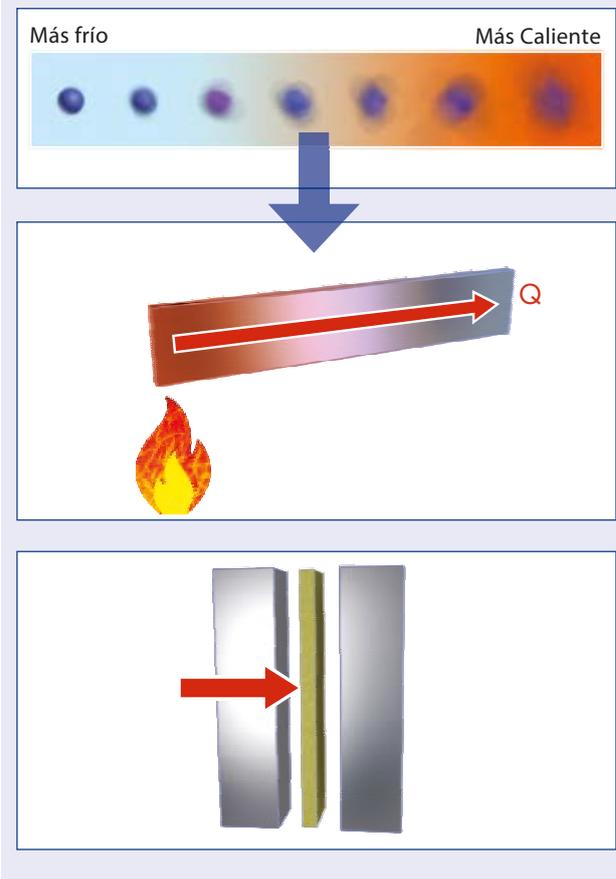


Figura 2. Vibración de partícula en el interior de una barra metálica.



La transferencia de calor por conducción se transmite de molécula a molécula sin cambio aparente de materia, por lo que esta forma de cambio de calor se produce fundamentalmente en sólidos. La elevación de temperatura aumenta la excitación de las partículas más elementales de la materia, transmitiéndose dicha excitación a las más próximas de su entorno y con ello su energía calorífica, continuándose el proceso en el cuerpo de la zona más caliente a la más fría.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y naturaleza intrínseca del material, así como de su gradiente de temperatura. Por ejemplo, si envolvemos un tanque de agua caliente con Lana Mineral se reduce la velocidad de la pérdida de calor del mismo. Cuanto mayor espesor del aislamiento, menor será la pérdida de calor. Cuanto mayor sea el tanque de agua caliente, mayor será el área superficial y, por tanto, la velocidad de pérdida de calor.

Se entiende que cuanto más denso, compacto y pesado es un cuerpo, más próximas están las moléculas entre sí y, por consiguiente, el cambio se realiza con mayor facilidad.

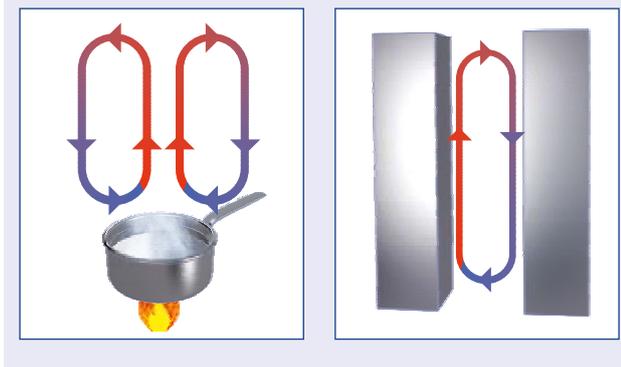
1.2.2. Por convección

Esta es la manera de propagación típica de los fluidos (tanto líquidos como gases).

- Todos sabemos, que si colocamos un ventilador delante de una placa de metal caliente se enfriará antes que si está expuesta al aire quieto. En este caso el calor cede hacia fuera de la placa y al proceso se le llama transferencia de calor por convección.

Las moléculas en contacto con un cuerpo a temperatura más alta se calientan, disminuyendo su densidad y desplazándose por gravedad. Si a su vez entran en contacto con un cuerpo más frío, ceden calor, aumentando su densidad y desplazándose en sentido contrario, formándose así un ciclo de convección..

Figura 3. Ciclo de convección.

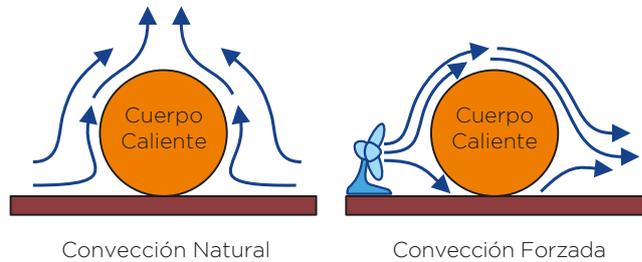


Existen dos tipos de convección: convección libre o natural y la convección forzada.

Convección natural: la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a fuerzas ascendentes. El fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna influencia de fuerza motriz exterior. Un ejemplo sería la transmisión de calor al exterior desde la pared o el tejado de una casa en un día soleado sin viento, o la convección en un tanque que contiene un líquido en reposo en el que se encuentra sumergida una resistencia calefactora.

Convección forzada: tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido sobre una superficie que se encuentra a una temperatura mayor o menor que la del fluido. Esa fuerza motriz exterior puede ser un ventilador, una bomba, el viento, etc. Como la velocidad del fluido en la convección forzada es mayor que en la convección natural, se transfiere, por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

Figura 4. Tipos de convección



Aunque la convección es bastante compleja, hay que señalar que la rapidez de transferencia de calor es proporcional a la diferencia de temperatura y, por tanto, la diferencia de temperatura depende de la rapidez a la que el fluido disipe el calor.

Para expresar el efecto global de la convección, se utiliza la, **ley de Newton del enfriamiento:**

$$[2.3] \quad q = h (T_s - T_\infty)$$

Donde:

- q Densidad de flujo de calor. (W/m²).
- h Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K).
- T_s Temperatura de la superficie (K).
- T_∞ Temperatura alejada de la superficie (K).

El coeficiente de transferencia de calor por convección no es una propiedad intrínseca del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad del mismo. En la tabla se dan los valores típicos de h.

Tabla 1. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

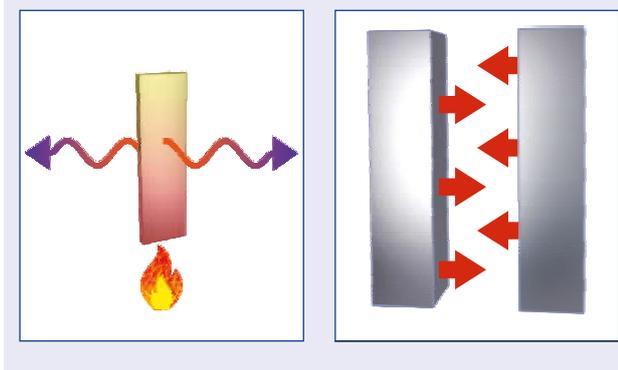
Tipo de convección	h (W/m ² K)
Convección libre de gases	2 - 25
Convección libre de líquidos	10 - 1,000
Convección forzada de gases	25 - 250
Convección forzada de líquidos	50 - 20,000
Ebullición y condensación	2,500 - 100,000

Nota: En la superficie la temperatura del fluido es igual a la del sólido.

1.2.3. Por radiación

La radiación está formada por ondas electromagnéticas de diferentes longitudes. Mientras las dos formas de transmisión anteriores (conducción y convección) necesitan de un soporte material (un medio), la transmisión por radiación puede realizarse en el vacío.

Figura 5. Conducción por radiación.



Todos los cuerpos incluso a bajas temperaturas, emiten calor por radiación y la cantidad de calor irradiado aumenta cuando se eleva la temperatura del cuerpo.

$$[2.4] \quad h_r = \alpha_r \cdot C_r$$

Donde:

h_r Coeficiente de transferencia de calor por radiación ($W/m^2 \cdot K$).

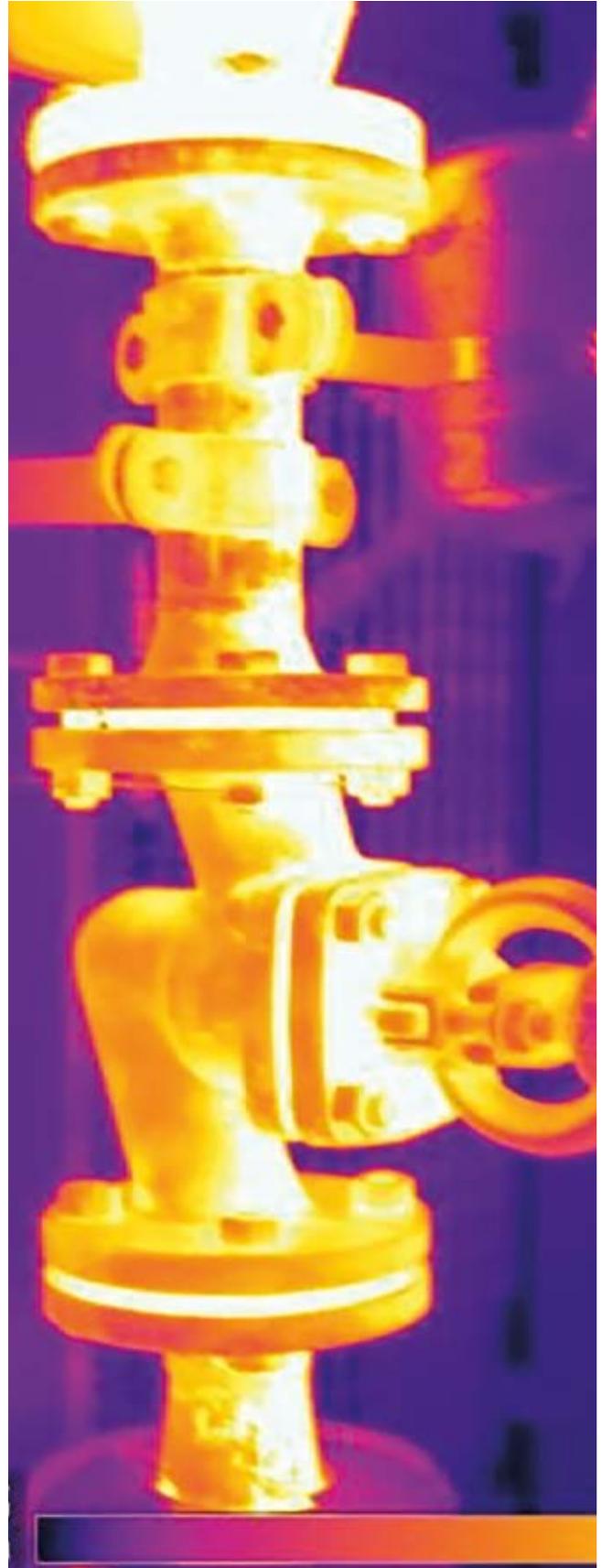
α_r Factor de temperatura (K^3).

C_r Coeficiente de radiación de la superficie ($W/m^2 K^4$).

Cuando un cuerpo se encuentra en presencia de otro más caliente, absorbe más energía de la que emite y viceversa, siendo la cantidad transmitida la diferencia entre la emitida por ambos.

La transferencia de calor por radiación hacia una superficie, o desde ésta, rodeada por un gas como el aire, ocurre simultánea a la conducción (o convección, si se tiene movimiento del gas masivo) entre esa superficie y el gas. Por tanto, la transferencia total de calor se determina al sumar las contribuciones de los dos mecanismos de transferencia. Por sencillez y conveniencia esto se lleva a cabo con frecuencia mediante la definición de un coeficiente combinado de transferencia de calor, $h_{\text{combinado}}$, que incluye los efectos tanto de la convección como de la radiación.

Hay que tener presente que la radiación suele ser significativa con relación a la conducción o a la convección natural, pero despreciable con relación a la convección forzada.



1.3. Transmisión superficial de calor

En las instalaciones, las superficies mantienen una transferencia de calor con el fluido en contacto, donde se mezclan las formas convectiva y radiativa, especialmente cuando el medio fluido es el aire ambiente.

Por ello, es necesario el estudio conjunto de ambos tipos de transferencias.

El coeficiente superficial de transmisión de calor viene definido por la cantidad de flujo de calor que pasa a través de una superficie en estado estacionario, dividida por la diferencia de temperatura entre dicha superficie y su entorno, y se representa por h .

En el caso de instalaciones, existen dos tipos de coeficiente superficial según se trate de la cara interna h_i o la externa h_e .

En general, el coeficiente superficial de transmisión de calor, h_{sup} , viene dado por:

$$[2.5] \quad h_{sup} = h_{cv} + h_r$$

Donde:

h_{cv} , es la parte convectiva del coeficiente superficial de transmisión de calor.

h_r , es la parte radiativa del coeficiente superficial de transmisión de calor.

1.3.1. Parte convectiva del coeficiente de superficie, h_{cv}

El coeficiente superficial de transmisión de calor, h_{cv} , depende de varios factores, tales como la velocidad del aire, la orientación de la superficie, el tipo de material, la diferencia de temperatura, etc.

En la parte convectiva, debe hacerse distinción entre el coeficiente en el interior de los edificios y el coeficiente en el exterior de los mismos.

Hay que tener en cuenta que para tuberías y depósitos existe una diferencia entre el coeficiente interno, h_i y el coeficiente externo, h_e .

a) Interior de los edificios

En el interior de edificios, h_{cv} puede ser calculado para paredes planas verticales y tuberías verticales para,

• *Flujo laminar libre* ($H^3 \cdot \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$)

$$[2.6] \quad h_{cv} = 1.32^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{H}} = 1.32^4 \sqrt{\frac{T_{se} - T_a}{H}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$)

T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K)

T_a Temperatura del aire ambiente dentro del edificio (K)

H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m)

Para paredes verticales, tuberías verticales y en aproximación para grandes esferas dentro de edificios, la parte convectiva, h_{cv} , para:

• *Flujo libre turbulento* ($H^3 \cdot \Delta T \geq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$)

$$[2.7] \quad h_{cv} = 1.74^3 \sqrt{\Delta T} = 1.74^3 \sqrt{T_{se} - T_a}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$).

T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K).

T_a Temperatura del aire ambiente dentro del edificio (K).

H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).

Para paredes verticales, tuberías verticales y en aproximación para grandes esferas dentro de edificios, la parte convectiva, h_{cv} , para:

• *Flujo libre turbulento* ($H^3 \cdot \Delta T \leq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$)

$$[2.8] \quad h_{cv} = 1.25^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{D_e}} = 1.25^4 \sqrt{\frac{T_{se} - T_a}{D_e}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$).

T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K).

T_a Temperatura del aire ambiente dentro del edificio (K).

D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).

• *Flujo laminar* ($D^3 \cdot \Delta T \geq 10 \text{ m}^3 \cdot \text{K}$)

$$[2.9] \quad h_{cv} = 1.21^3 \sqrt{\Delta T} = 1.21^3 \sqrt{T_{se} - T_a}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$).

T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K).

T_a Temperatura del aire ambiente dentro del edificio (K).

Para el caso de superficies planas horizontales en el interior de edificios este coeficiente no es importante en la práctica.

Todas las ecuaciones de la parte convectiva del coeficiente térmico de la “superficie externa” de una pared dentro de edificios, es aplicable para situaciones con diferencias de temperatura entre superficie y aire menores de 100 °C.

Nota: Para conductos cilíndricos con un diámetro menor de 0,25 m, la parte convectiva del coeficiente externo puede ser calculado en buena aproximación por la ecuación [2.8]. Para mayores diámetros, $D_e > 0,25$ m, la ecuación [2.6] puede aplicarse. La exactitud respectiva es de 5 % para diámetros mayores de 0,4 m y 10% para diámetros $0,25 < D_e < 0,4$ m. La ecuación [2.6] también se emplea para conductos con sección rectangular, con una anchura y altura de similar magnitud.

b) Exterior de edificios

Para paredes planas verticales en el exterior de los edificios y por aproximación para grandes esferas, la parte convectiva, h_{cv} del coeficiente superficial está dado por:

- *Flujo laminar* ($v \cdot H \leq 8 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$[2.10] \quad h_{cv} = 3.96 \sqrt{\frac{v}{H}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).

v Velocidad del viento (m/s).

H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).

- *Flujo turbulento* ($v \cdot H \geq 8 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$[2.11] \quad h_{cv} = 5.76 \sqrt[5]{\frac{v^4}{H}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).

v Velocidad del viento (m/s).

H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).

Para tuberías horizontales y verticales que están en el exterior de edificios se aplican las siguientes expresiones:

- *Flujo laminar* ($v \cdot D_e \leq 8.55 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$[2.12] \quad h_{cv} = \frac{8.1 \cdot 10^{-3}}{D_e} + 3.14 \sqrt{\frac{v}{H}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).

v Velocidad del viento (m/s).

H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).

D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).

- *Flujo turbulento* ($v \cdot D_e \geq 8.55 \text{ m}^2/\text{s}$)

$$[2.13] \quad h_{cv} = 8.9 \frac{v^{0.9}}{D_e^{0.1}}$$

Donde:

h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$).

v Velocidad del viento (m/s).

D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).

Nota:

- Para el cálculo de la temperatura superficial, las expresiones [2.6] y [2.7] deberían ser empleadas para la pared y la tubería en lugar de las fórmulas [2.10] y [2.13] cuando no está establecida la presencia de aire.
- Para superficies horizontales en el exterior, en caso de flujo laminar se aplicaría la ecuación [2.10] y la [2.11] en caso de flujo turbulento.

Resumen

Tabla 2. Resumen de la parte convectiva del coeficiente de superficie, h_{cv}

h_{cv}	Interior de edificios	Flujo laminar libre	Paredes planas verticales y tuberías verticales	$h_{cv} = 1.32^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{H}} = 1.32^4 \sqrt{\frac{T_{se} - T_a}{H}}$ Ecuación [2.6]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K). T_a Temperatura de la superficie del edificio (K). H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).
			Tuberías horizontales	$h_{cv} = 1.25^4 \sqrt{\frac{\Delta T}{D_e}} = 1.25^4 \sqrt{\frac{T_{se} - T_a}{D_e}}$ Ecuación [2.7]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K). T_a Temperatura de la superficie del edificio (K). D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).
		Flujo libre turbulento	Paredes verticales, tuberías verticales y grandes esferas	$h_{cv} = 1.74^3 \sqrt{\Delta T} = 1.74^3 \sqrt{T_{se} - T_a}$ Ecuación [2.8]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K). T_a Temperatura de la superficie del edificio (K).
			Tuberías horizontales	$h_{cv} = 1.21^3 \sqrt{\Delta T} = 1.21^3 \sqrt{T_{se} - T_a}$ Ecuación [2.9]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). T_{se} Temperatura de la superficie de la pared (K). T_a Temperatura de la superficie del edificio (K).
	Exterior de edificios	Flujo laminar	Paredes verticales y grandes esferas	$h_{cv} = 3.96 \sqrt{\frac{v}{H}}$ Ecuación [2.10]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). v Velocidad del viento (m/s). H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).
			Tuberías horizontales y verticales	$h_{cv} = \frac{8.1 \cdot 10^{-3}}{D_e} + 3.14 \sqrt{\frac{v}{H}}$ Ecuación [2.11]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). v Velocidad del viento (m/s). H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m). D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).
Flujo turbulento		Paredes verticales y grandes esferas	$h_{cv} = 5.76^5 \sqrt[5]{\frac{v^4}{H}}$ Ecuación [2.12]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). v Velocidad del viento (m/s). H Altura de la pared o diámetro de la tubería (m).	
		Tuberías horizontales y verticales	$h_{cv} = 8.9 \frac{v^{0.9}}{D_e^{0.1}}$ Ecuación [2.13]	h_{cv} Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m ² K). v Velocidad del viento (m/s). D_e Diámetro exterior del aislamiento (m).	

1.3.2. Parte radiativa del coeficiente de superficie, h_r

El coeficiente superficial debido a radiación, h_r , es función de la temperatura, del acabado superficial del material y de su emisividad. El coeficiente superficial debido a la radiación, h_r está definido por:

$$[2.14] \quad h_r = a_r \cdot C_r$$

Donde:

h_r Coeficiente de superficie parte radiativa ($W/m^2 K$)
 a_r Factor de temperatura (K^3), dado por la siguiente expresión:

$$[2.15] \quad a_r = \frac{T_1^4 - T_2^4}{T_1 - T_2}$$

y puede ser aproximada hasta una diferencia de temperatura de 200K por:

$$[2.16] \quad a_r \approx 4 \cdot (T_{av})^3$$

donde $T_{av} = 0.5 \cdot (T_{superficial} + T_{ambiente})$ (temperatura superficial + temperatura ambiente o superficial de una superficie radiante en la vecindad) (K).

C_r Coeficiente de radiación de la superficie ($W/m^2 K^4$), dado por la expresión:

$$[2.17] \quad C_r = \varepsilon \cdot \sigma$$

Siendo:

ε Emisividad, (adimensional)
 σ Coeficiente de radiación constante del cuerpo negro $W/(m^2 \cdot K^4)$, cuyo valor es de:

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$$

Superficie	ε	C_r $W/(m^2 \cdot K^4)$
Aluminio brillante	0.05	$0.28 \cdot 10^{-8}$
Aluminio oxidado	0.13	$0.74 \cdot 10^{-8}$
Chapa de metal galvanizado, limpio	0.26	$1.47 \cdot 10^{-8}$
Chapa de metal galvanizado, sucio	0.44	$2.49 \cdot 10^{-8}$
Acero austenítico	0.15	$0.85 \cdot 10^{-8}$
Plancha de aluminio-zinc	0.18	$1.02 \cdot 10^{-8}$
Superficies no metálicas	0.94	$5.33 \cdot 10^{-8}$

1.3.3. Aproximación para el cálculo del coeficiente superficial de transmisión de calor interior (h_i)

El coeficiente superficial de transmisión de calor interior h_i es el resultado de sumar la parte radiativa interior (h_{ri}) y la parte convectiva interior (h_{cvi}):

$$[2.18] \quad h_i = h_{ri} + h_{cvi}$$

Teniendo en cuenta que h_{cvi} se calcula:

$$[2.19] \quad h_{cvi} = 0.04 Pe^{0.75} \lambda / D$$

Donde:

$$Pe = v Lo \rho Cp / \lambda$$

v Velocidad media (m/s).

Lo Longitud equivalente (m) – corresponde al radio en caso de tuberías horizontales y longitud en caso de tuberías verticales.

P Densidad media (kg/m^3).

Cp Calor específico medio ($J/(kgK)$).

D Diámetro interior (m).

Hay que considerar que el coeficiente superficial interior de transmisión de calor h_i tiende a infinito para el caso de los líquidos (y por tanto la resistencia térmica superficial interior tiende a 0 ($R_i = 1/h_i$)), siendo por tanto despreciable. Sin embargo, el valor de h_i en el caso de gases, donde su valor aun siendo alto no tiende a infinito, debe tenerse en cuenta para los cálculos.

1.3.4. Aproximación para el cálculo del coeficiente superficial de transmisión de calor exterior (h_e)

El coeficiente superficial exterior h_e (h) en el interior de edificios, puede calcularse de forma aproximada empleando los coeficientes de la tabla en las siguientes ecuaciones:

• Para tuberías horizontales ($0.35 m \leq D_e \leq 1 m$)

$$[2.20] \quad h = h_e = C_H + 0.5 \Delta T \quad W/(m^2 \cdot K)$$

• Para tuberías verticales y paredes

$$[2.21] \quad h = h_e = C_V + 0.09 \Delta T \quad W/(m^2 \cdot K)$$

Con el empleo de los coeficientes de la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores de los coeficientes C_H y C_V para el cálculo aproximado del coeficiente superficial de calor.

Superficie	C_H	C_V
Aluminio brillante	2.5	2.7
Aluminio oxidado	3.1	3.3
Chapa de metal galvanizado, limpio	4.0	4.2
Chapa de metal galvanizado, sucio	5.3	5.5
Acero austenítico	3.2	3.4
Plancha de aluminio-zinc	3.4	3.6
Superficies no metálicas	8.5	8.7

1.4. Transmisión de calor por conducción en régimen estacionario

1.4.1. En paredes planas

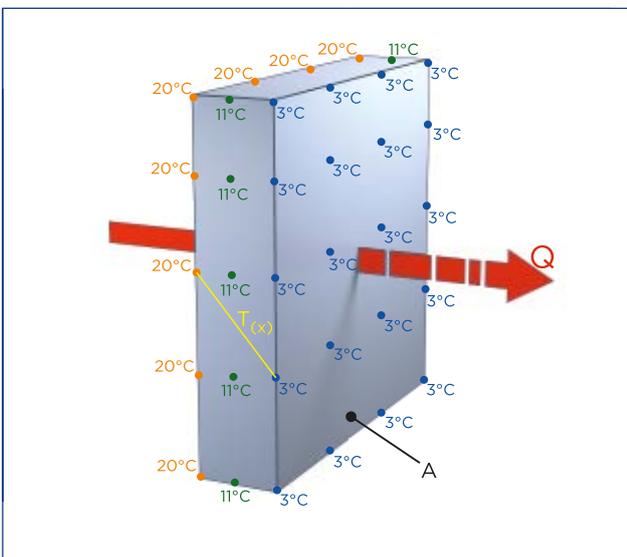
a) Una sola capa

El caso más simple de conducción es el que se produce en sólidos de caras paralelas de manera que el flujo será unidireccional. Cuando dicho sólido se encuentre en equilibrio termodinámico sin variar su temperatura en el tiempo, lo que se denomina régimen estacionario, implica que no existe acumulación de calor, y que además no existe generación de calor.

La transferencia de calor en cierta dirección es impulsada por su gradiente de temperatura (diferencia de temperatura) en esa dirección. Las mediciones de la temperatura en varios puntos sobre la superficie interior o exterior de la pared confirmarán que la superficie de una pared es casi isotérmica. Es decir, la temperatura en la parte superior e inferior de la superficie de una pared, así como en los extremos derecho e izquierdo, son teóricamente la misma, no existiendo transferencia de calor.

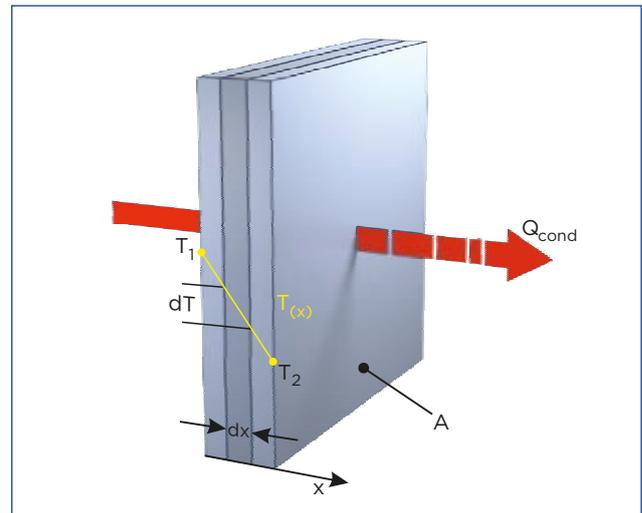
Por el contrario, si se tendrá en cuenta, la diferencia de temperatura entre la superficie interior y exterior de dicha pared, y por tanto, la transferencia de calor significativa en la dirección de la superficie interior hacia la exterior.

Figura 6. El flujo de calor a través de una pared es unidimensional cuando la temperatura varía sólo en una dirección.



Considerando una condición de estado estacionario y unidimensional de calor a través de una pared plana de espesor d , la diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared $\Delta T = T_2 - T_1$, es constante. La velocidad de la transferencia de calor q y $\frac{\Delta T}{(\Delta x)}$ (gradiente de temperatura), también serán constantes. Lo cual significa que la temperatura a través de la pared varía linealmente con x , es decir, la distribución de temperatura en la pared, en condiciones estacionarias, es una línea recta. (Figura 7).

Figura 7. Representa una pared plana de espesor d y constituida por un material de conductividad térmica constante λ .



La velocidad de la transferencia de calor q , a través de la pared, se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, reduciéndose a la mitad, cuando se duplica el espesor d de la pared.

En conclusión, determina que la velocidad de la conducción de calor a través de una capa plana, es proporcional a la diferencia de temperatura, pero es inversamente proporcional al espesor de la capa.

Se emplea el concepto de resistencia térmica con el fin de determinar la densidad de flujo de calor en estado estacionario a través de la pared, obteniéndose al dividir la diferencia de temperatura que existe en las superficies de la pared entre la resistencia térmica. Esta ecuación expresa la *Ley de Fourier de la conducción del calor para una pared plana*:

“La velocidad de la conducción de calor, q , a través de una pared plana es proporcional a la conductividad térmica promedio, al área de la pared y a la diferencia de temperatura, pero es inversamente proporcional al espesor de la pared.”

$$[2.22] \quad q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{pared}}$$

Donde:

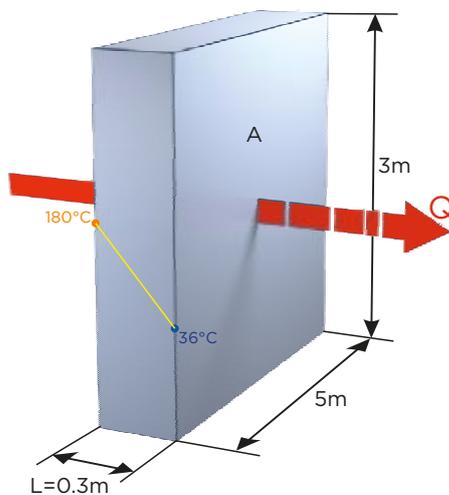
q Densidad de flujo de calor (W/m^2).
 T_{si} Temperatura superficie interna (K).
 T_{se} Temperatura superficie externa (K).
 R Resistencia térmica una pared plana (m^2K/W),
 siendo su expresión:

$$[2.23] \quad R_{pared} = \frac{d}{\lambda}$$

Donde:

d Espesor de la capa (m).
 λ Conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$).

EJEMPLO 1: PÉRDIDA DE CALOR A TRAVÉS DE UNA PARED



Se considera una pared de un tanque de 3 m de alto, 5 m de ancho y 0,30 m de espesor, tiene una conductividad térmica de $\lambda = 0,90 W/m \cdot K$ (Figura). Las temperaturas de las superficies interior y exterior que se midieron resultaron ser de 180 °C (453 K) y 36 °C (309K), respectivamente. Determinar la pérdida de calor a través de la pared en ese día.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable, dado que las temperaturas superficiales permanecen constantes en los valores especificados.
3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior hacia el exterior.
4. La conductividad térmica es constante.

Se puede calcular la densidad de flujo en estado estacionario, haciendo uso del concepto de resistencia térmica, a partir de la ecuación [2.23]:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{pared}} \rightarrow R_{pared} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.30}{0.90} = 0.333 \text{ Km}^2/W$$

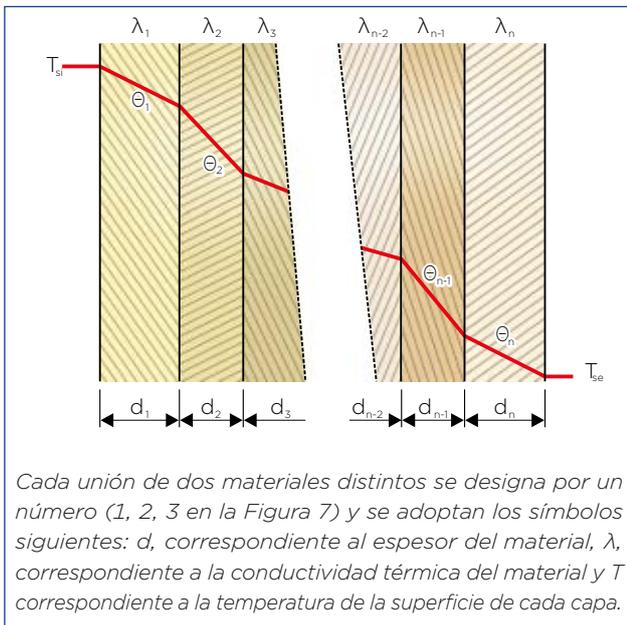
Sustituyendo en la ecuación [2.22],

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{pared}} = \frac{(453 - 309)}{0.333} = 432 W/m^2$$

b) Pared multicapa

Si consideramos, en estado estacionario y unidimensional, una pared plana compuesta de varias capas de materiales de diferentes espesores, conductividades térmicas y temperaturas conocidas. La siguiente figura representa una pared plana multicapa:

Figura 8. Distribución de temperatura en una pared plana multicapa.



se utiliza el concepto de resistencia térmica con el fin de determinar la densidad de flujo de calor en estado estacionario a través de la pared multicapa, obteniéndose al dividir la diferencia de temperatura que existe entre las dos superficies a las temperaturas conocidas entre la resistencia térmica total que presentan ambas

$$[2.24] \quad q = \frac{(T_{si} - T_{se})}{R'}$$

Donde:

q Densidad de flujo de calor pared plana multicapa (W/m²)

T_{si} Temperatura de la superficie interna (K)

T_{se} Temperatura de la superficie externa (K)

R' Resistencia térmica pared plana multicapa (m²K/W), siendo su expresión:

$$[2.25] \quad R' = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j}$$

Donde:

d_j Espesor de cada capa (m)

λ_j Conductividad térmica del material de cada capa (W/m·K)

El término resistencia térmica queda limitado a los sistemas a través de los cuales la velocidad de la transferencia de calor (q) permanece constante, es decir, a sistemas que implican transferencia de calor estable, sin generación de calor dentro del medio.

EJEMPLO 2: PÉRDIDA DE CALOR A TRAVÉS DE UNA PARED MULTICAPA

Considerando el "EJEMPLO 1": Una pared de 3 m de alto, 5 m de ancho y 0,30 m de espesor, tiene una conductividad térmica de λ = 0,90 W/m·K. Dicha pared presenta un aislamiento de lana de vidrio (TECH Slab 2.0) de 80 mm de espesor y λ_{108 °C} = 0,053 W/m·K de conductividad térmica. Las temperaturas de las superficies interior y exterior que se midieron resultaron ser de 180°C (453 K) y 36°C (309 K), respectivamente. Determinar la pérdida de calor a través de la pared en ese día.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable. Hay que tomar el valor de conductividad a la temperatura media, en este caso sería: (T_e + T_i)/2 = (180+36)/2=108 °C.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores y dado que:

Parámetros	Capa 1	Capa 2
Espesor (m)	0.30	0.08
Conductividad térmica (W/mk)	0.90	0.049

La pérdida de calor a través de la pared, en este caso, se determina haciendo uso del concepto de resistencia térmica para una pared multicapa, con base a la ecuación [2.24]:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R'}$$

Siendo la resistencia térmica (R') Ecuación [2.25]:

$$R_{pared} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} = \frac{0,3m}{(09W/mK)} + \frac{0,08m}{(0,053W/mK)} = 1,84m^2K/W$$

Por lo tanto, la pérdida de calor de la pared será:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R'} = \frac{(453 - 309)K}{1,84 m^2K/W} = 78,26W/m^2$$

Como podemos observar, el hecho de poner aislamiento en la pared, formando así una pared multicapa, nos da lugar a pérdidas caloríficas significativamente inferiores que en el EJEMPLO 1 (q=432 W/m²)

1.4.1.1. Resistencia térmica a la convección y radiación para paredes planas

• El concepto de resistencia térmica

Como se ha mencionado anteriormente, la ecuación que expresa La Ley de Fourier de la conducción de calor para una pared plana es:

$$[2.26] \quad q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{pared}} \text{ (W)}$$

Donde:

- q Flujo de calor pared plana (W/m²)
- T_{si} Temperatura superficie interna (K)
- T_{se} Temperatura superficie externa (K)
- R_{pared} Resistencia térmica a la conducción de la pared (m²K/W), siendo su expresión:

$$[2.27] \quad R_{pared} = \frac{d}{\lambda}$$

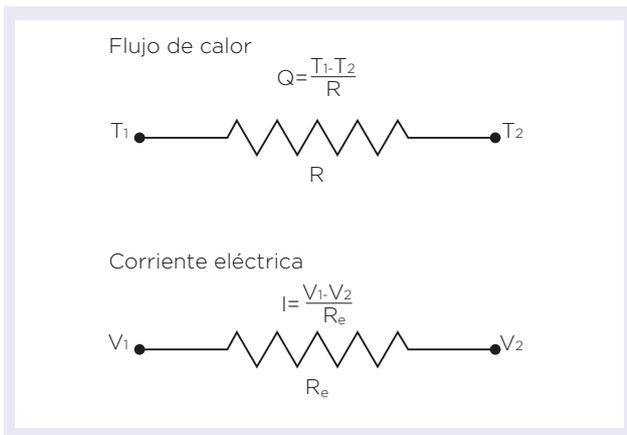
Donde:

- d Espesor de la capa (m)
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K)

La resistencia térmica de un medio depende de la configuración geométrica y de las propiedades térmicas del medio.

La ecuación antes dada para el flujo de calor es análoga a la relación para el flujo de corriente eléctrica I.

Figura 9. Analogía entre los conceptos de resistencia térmica y eléctrica.



Donde:

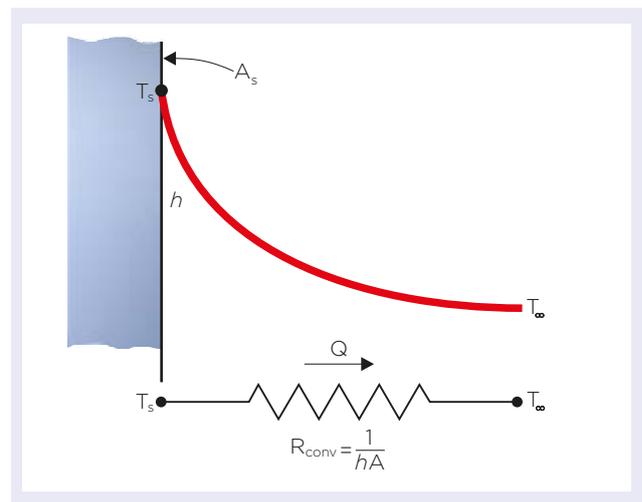
- Re Resistencia térmica eléctrica (Re = L/σe)
- V₁-V₂ Diferencia de potencial cruzada de la resistencia.

Si hacemos la analogía, el flujo de calor a través de una capa corresponde a la corriente eléctrica, la resistencia térmica a la resistencia eléctrica y la diferencia de temperatura a la diferencia de voltaje (Figura 9).

Al considerar la transferencia de calor por convección de la superficie sólida de temperatura Ts hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie es T∞, con un coeficiente de transferencia de calor por convección h, la ley de enfriamiento de Newton para el flujo de calor por convección, q=h_{cv}(Ts - T∞), se puede simplificar para obtener,

$$[2.28] \quad q = \frac{T_s - T_\infty}{R_{cv}} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Figura 10. Esquema para la resistencia a la convección en una superficie.



Donde:

- q Densidad de flujo de calor por convección (W/m²).
- T_s Temperatura de la superficie (K).
- T_∞ Temperatura alejada de la superficie (K).
- R_{cv} Resistencia térmica a la convección (m²K/W), siendo su expresión:

$$[2.29] \quad R_{cv} = \frac{1}{h_{cv}}$$

Donde:

- h_{cv} Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m² k).

Cuando el coeficiente de transferencia de calor por convección es muy grande (h→∞), la resistencia a la convección se hace cero y Ts ≈ T∞ es decir, la superficie no ofrece resistencia a la convección y por tanto no desacelera el proceso de transferencia de calor. Esto ocurre en superficies donde se produce ebullición y condensación, y para ello la superficie no ha de ser plana.

Cuando la pared está rodeada por un gas fluido, como el aire, los efectos de la radiación que se han ignorado hasta ahora, pueden ser significativos y es necesario considerarlos. El flujo de calor por radiación, se expresa como,

$$q = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\infty}^4) + h_{rad} (T_s - T_{alred}) = \frac{T_s - T_{alred}}{R_{rad}} \quad [2.30]$$

Donde:

- q Flujo de calor por radiación pared plana (W/m²).
- ε Emisividad (adimensional).
- T_s Temperatura superficie (K).
- T_{alred} Temperatura promedio de superficies circundantes (K).
- h_{rad} Coeficiente de transmisión de calor por radiación (W/m² K).
- R_{rad} Resistencia térmica a la radiación (m²K/W), siendo su expresión:

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}} \quad [2.31]$$

Para una superficie expuesta al aire circundante aplica convección y radiación de manera simultánea y la transferencia de calor total en la superficie se determina al sumar (o restar, si tienen direcciones opuestas) las componentes de radiación y convección. Las resistencias a la convección y a la radiación son paralelas entre sí, como se muestra en la figura 11, y pueden provocar algunas complicaciones en la red de resistencias térmicas. Cuando T_{alred} ≈ T_∞, el efecto de radiación se puede tener en cuenta de manera apropiada al reemplazar h en la relación de la resistencia a la convección por

$$h_{superficial} = h_{cv} + h_{rad} \quad [2.32]$$

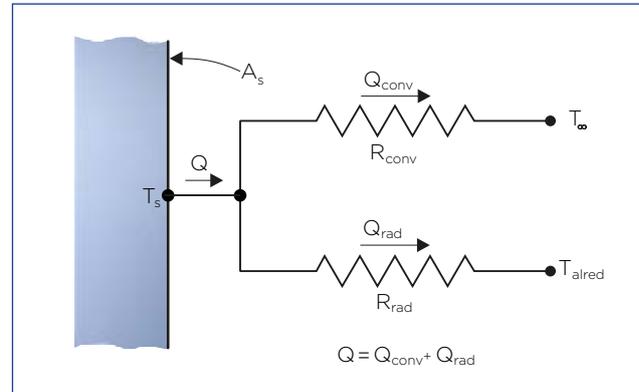
Denominándose a dicha resistencia, por tanto, *resistencia térmica superficial*, la cual incluye los efectos de convección y radiación.

$$R_{sup} = \frac{1}{h_{sup}} \quad [2.33]$$

Donde:

- h_{cv}, Coeficiente superficial de transmisión de calor por conducción. (W/m² K).
- h_r, Coeficiente superficial de transmisión de calor por radiación (W/m² K).

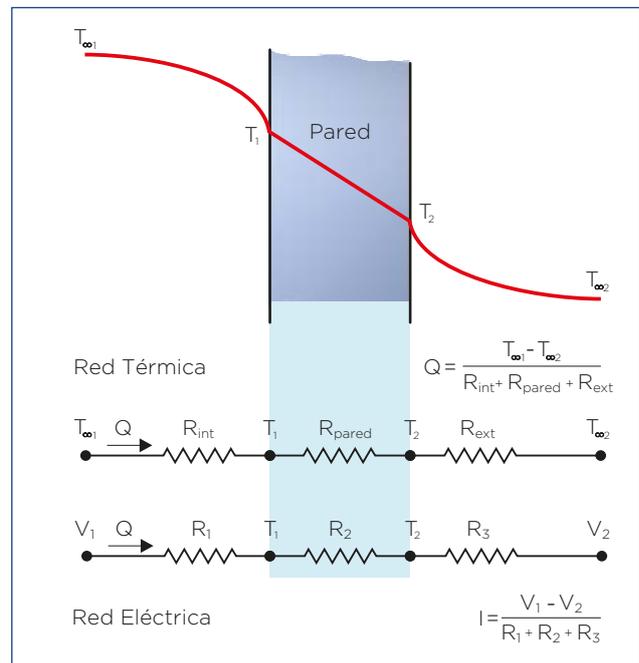
Figura 11. Esquema para las resistencias a la convección y a la radiación en una superficie.



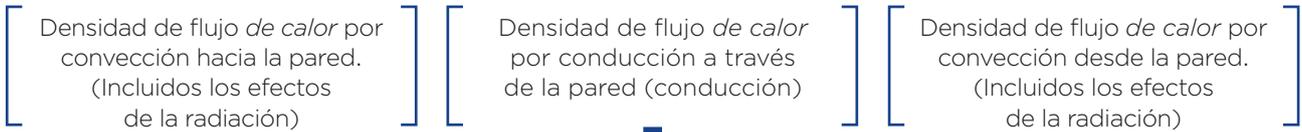
• Red de resistencias térmicas para una pared plana

Consideramos el flujo de calor unidimensional en estado estacionario a través de una pared plana de espesor d y conductividad térmica λ que está expuesta a la convección y radiación sobre ambos lados a temperaturas T_{∞1} y T_{∞2}. Si se supone que T_{∞1} > T_{∞2} la variación de la temperatura es la que se muestra en la figura 12. La temperatura varía en forma lineal en la pared y tiende asintóticamente a T_{∞1} y T_{∞2} en los fluidos, a medida que se aleja de la pared.

Figura 12. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana sujeta a convección sobre ambos lados, y la analogía eléctrica.



En condiciones estacionarias, obtenemos que:



$$[2.34] \quad q = h_{sup,i}(T_{\infty 1} - T_1) = \lambda \frac{T_1 - T_2}{d} = h_{sup,e}(T_2 - T_{\infty 2})$$

$$[2.35] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_{sup,i}} = \frac{T_1 - T_2}{d/\lambda} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{1/h_{sup,e}}$$

$$= \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{sup,i}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{R_{sup,e}}$$

Por lo tanto, para una superficie expuesta a convección y a radiación para paredes planas, la densidad de flujo de calor sería:

$$[2.36] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

Siendo:

$$[2.37] \quad R_{total} = R_{sup,i} + R_{pared} + R_{sup,e} = \frac{1}{h_{sup,i}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{sup,e}}$$

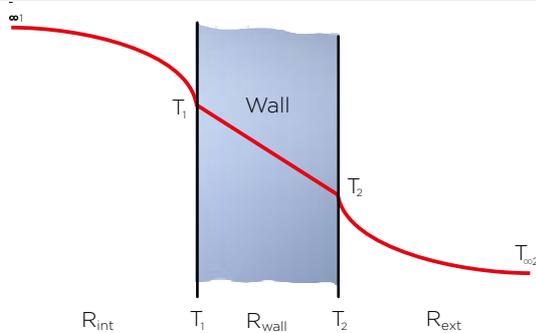
Donde:

- q Flujo de calor pared plana (W/m²).
- T₁ Temperatura de la superficie interna (K).
- T₂ Temperatura de la superficie externa (K).
- T_{∞1} Temperatura alejada superficie interna (K).
- T_{∞2} Temperatura alejada de la superficie externa (K).
- h_{sup,i} Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección para incluir los efectos de radiación, superficie interior (W/m²·K).
- h_{sup,e} Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección para incluir los efectos de radiación, superficie exterior (W/m²·K).
- R_{sup,n} Resistencia térmica superficie expuesta a convección y a radiación (K m²/W).
- R_{pared} Resistencia térmica pared plana (K m²/W).
- R_{pared} Resistencia térmica total pared plana (K m²/W), siendo su expresión:

Se debe tener en cuenta que las resistencias térmicas están en serie y la resistencia térmica equivalente se calcula sumando cada una de las resistencias, como en las resistencias eléctricas conectadas en serie.

“La rapidez de la transferencia de calor estacionaria entre dos superficies es igual a la diferencia de temperatura dividida entre la resistencia térmica total que existe entre las dos superficies.”

EJEMPLO 3: RED DE RESISTENCIAS TÉRMICAS PARA UNA PARED PLANA



Considerando el “**EJEMPLO 1**”: Una Pared de 0,30 m de espesor, tiene una conductividad térmica de $\lambda = 0.9 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. La temperatura interior es de $T_{\infty 1} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ (453 K), y la temperatura del exterior resulta ser de $T_{\infty 2} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ (309 K). Determine el flujo de calor (estado estacionario) a través de la pared, sabiendo que Los coeficientes de transferencia de calor de las superficies interior y exterior son de $h_{sup,i} = 17,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y $h_{surf,e} = 17.2 \text{ W/m}^2\text{K}$, los cuales incluyen la radiación.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable, dado que las temperaturas superficiales permanecen constantes en los valores especificados.
3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior hacia el exterior.
4. La conductividad térmica es constante.

Se plantea un problema relacionado con conducción y convección en sus superficies a través de la pared, siendo la manera más fácil de resolverlo empleando el concepto de resistencia térmica como se muestra a continuación en base a la ecuación [2.32]:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

Ya que las resistencias están en serie, la resistencia total es:

$$R_{total} = R_{sup,1} + R_{pared} + R_{sup,2} = \frac{1}{h_{sup,1}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{sup,2}}$$

Donde:

$$R_{sup,1} = \frac{1}{h_{sup,1}} = \frac{1}{17.2 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.058 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{pared} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.30 \text{ m}}{0.90 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.330 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{sup,2} = \frac{1}{h_{sup,2}} = \frac{1}{17.2 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.058 \text{ m}^2\text{K/W}$$

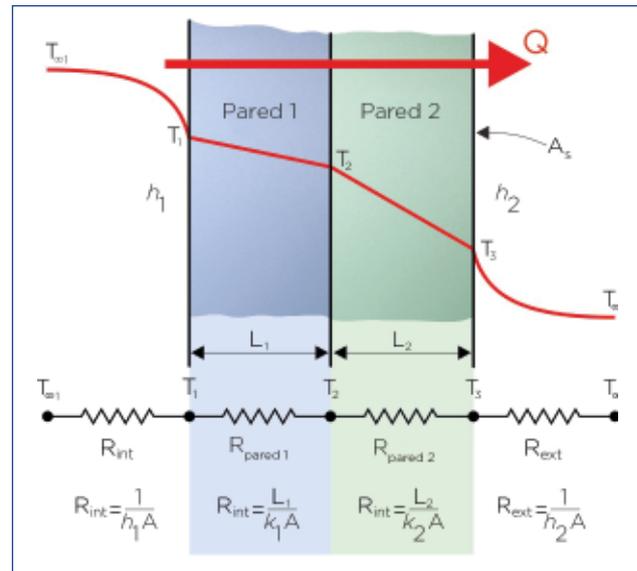
$$R_T = R_{sup,1} + R_{pared} + R_{sup,2} = 0.058 + 0.330 + 0.058 = 0.446 \text{ m}^2\text{K}$$

Por lo tanto:

$$q_T = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_T} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{sup,1} R_{pared} R_{sup,2}} = \frac{(453 - 309)}{0.446} = 322,87 \text{ W/m}^2$$

Como podemos observar, en este caso de red de resistencias térmicas para una pared plana de una capa, al tener en cuenta los coeficientes superficiales se desacelera el proceso de transmisión de calor de dicha pared con respecto al EJEMPLO 1 (432 W/m^2), y por ello la pérdida de calor es menor.

Figure 13. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana de dos capas presentando fenómeno de convección a ambos lados



• Red de resistencias térmicas para paredes planas multicapas

Si consideramos ahora una pared plana que consta de dos capas, la velocidad de transferencia de calor estacionaria a través de esta pared compuesta se puede expresar como,

$$[2.38] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R'_{total}}$$

Donde:

- q Flujo de calor pared plana multicapa (W/m^2)
- $T_{\infty 1}$ Temperatura alejada de la superficie interna (K)
- $T_{\infty 2}$ Temperatura alejada de la superficie externa (K)
- R'_{total} Resistencia térmica total pared plana multicapa (m^2K/W), siendo su expresión:

[2.39]

$$R'_{total} = R_{sup,1} + R_{pared,1} + R_{pared,2} + R_{sup,2} = \frac{1}{h_{sup,1}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_{sup,2}}$$

Donde:

- $R_{sup,n}$ Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (m^2K/W).
- $R_{pared,n}$ Resistencia térmica pared plana (m^2K/W).
- d_1 Espesor de la capa 1 (m).
- d_2 Espesor de la capa 2 (m).
- λ Conductividad térmica del material ($W/m \cdot K$).

Las resistencias están en serie, y por tanto, la resistencia térmica total es simplemente la suma aritmética de cada una de las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor.

Este resultado es el mismo que para el caso de una sola capa, excepto que se suma una resistencia más para la capa adicional.

El mismo desarrollo es válido para paredes planas que tienen tres o más capas, al sumar una resistencia adicional por capa adicional, considerando en este caso también, la resistencia superficial, que es la combinación de los coeficientes de transmisión de calor por convección y radiación.

Para hallar T_1 :

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{sup,1}}$$

Para hallar T_2 :

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{sup,1} + R_{pared,1}}$$

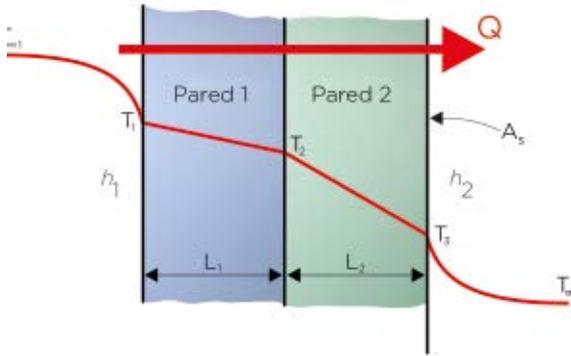
Para hallar T_3 :

$$q = \frac{T_3 - T_{\infty 2}}{R_{sup,2}}$$

Donde:

- T_1 Temperatura de la capa 1 (K).
- T_2 Temperatura de la capa 2 (K).
- T_3 Temperatura de la capa 3 (K).
- $T_{\infty 1}$ Temperatura alejada de la superficie interna (K).
- $T_{\infty 2}$ Temperatura alejada de la superficie externa (K).
- $R_{sup,n}$ Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (m^2K/W).

EJEMPLO 4: RED DE RESISTENCIAS TÉRMICAS PARA UNA PARED MULTICAPA



Considerando el "EJEMPLO 2": Una pared de 3m de alto, 5 m de ancho y 0,30 m de espesor, tiene una conductividad térmica de $\lambda = 0.90 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Dicha pared presenta un aislamiento de lana de vidrio (TECH Slab 2.0) de 80 mm de espesor y $\lambda_{108 \text{ }^\circ\text{C}} = 0.053 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ de conductividad térmica. Las temperaturas interior y exterior que se midieron resultaron ser de $T_{\infty 1} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ (453 K) y $T_{\infty 2} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ (309 K), Los coeficientes de transferencia de calor de las superficies interior y exterior de la pared son de $h_{\text{surf},i} = 17.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y $h_{\text{surf},e} = 17.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, los cuales incluyen la radiación. Determine la pérdida de calor a través de la pared en ese día.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable, dado que las temperaturas superficiales permanecen constantes en los valores especificados.
3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior hacia el exterior.
4. La conductividad térmica es constante en cada capa.

Se plantea un problema relacionado con conducción y convección en una pared multicapa, siendo la manera más fácil de resolverlo empleando el concepto de resistencia térmica como se muestra a continuación en base a la ecuación [2.37]:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R'_{total}}$$

Ya que las resistencias están en serie, la resistencia total es:

$$R'_{total} = R_{sup,1} + R_{pared,1} + R_{pared,2} + R_{sup,2} = \frac{1}{h_{sup,1}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_{sup,2}}$$

Siendo:

$$R_{sup,1} = \frac{1}{h_{comb,1}} = \frac{1}{17.2 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.058 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{pared,1} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.30 \text{ m}}{0.90 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.330 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{pared,2} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0.08 \text{ m}}{0.049 \text{ W/m}^2\text{K}} = 1.63 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{sup,2} = \frac{1}{h_{comb,2}} = \frac{1}{17.2 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.058 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'_{total} = 0,058 + 0.330 + 1,51 + 0,058 = 1.96 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Donde:

$$q_T = \frac{T_1 - T_2}{R_T} = \frac{T_1 - T_2}{R_{sup,1} + R_{pared} + R_{sup,2}} = \frac{(453 - 309)}{1,96} = 73,47 \text{ W/m}^2$$

Como podemos observar, en este caso de pared plana multicapa, se tiene en cuenta los coeficientes de transferencia de calor y el aislamiento que recubre la pared, por ello el proceso de transferencia de calor se desacelera aún más con respecto al ejemplo 1 y al ejemplo 3, y por ello la pérdida de calor es menor.

1.4.2. En cilindros y esferas

a) Elementos cilíndricos y esféricos de una sola capa

Consideramos un cilindro hueco, donde las temperaturas de la superficie exterior e interior permanecen constantes. La transferencia de calor a través del cilindro hueco se considera entonces estacionaria y unidimensional.

En estado estacionario, no varía la temperatura del cilindro con el tiempo en cualquier punto. Por lo tanto, la velocidad de la transferencia de calor hacia el cilindro debe ser igual a la velocidad de la transferencia fuera de él. Es decir, la transferencia de calor a través del cilindro debe ser constante, $q_{cil} = \text{constante}$.

Al considerar un cilindro considerablemente superior al diámetro con conductividad promedio λ (Figura 14), las dos superficies de la capa cilíndrica se mantienen a las temperaturas constantes T_{si} and T_{se} . No hay generación de calor en la capa y la conductividad térmica es constante. Entonces la *ley de Fourier* de la conducción de calor para la transferencia de calor a través de la capa cilíndrica se puede expresar como:

$$[2.40] \quad q_{cil} = -\lambda A \frac{dT}{dr}$$

Donde:

- q_{cil} Flujo de calor para el elemento cilíndrico (W/m)
- λ Conductividad térmica del material (W/mK)
- A Área del cilindro

Al separar las variables de la ecuación e integrar, obtenemos:

$$[2.41] \quad \int_{r=r_i}^{r_e} \frac{q_{cil}}{A} dr = - \int_{T=T_{si}}^{T_{se}} \lambda dT$$

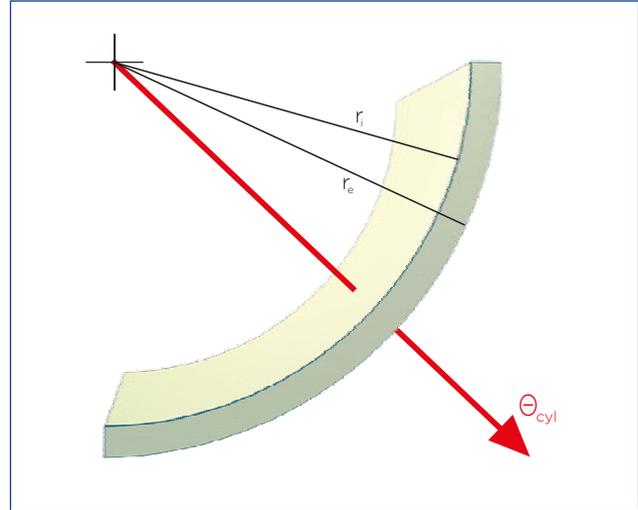
Sustituyendo $A = 2\pi rL$, se obtiene al realizar la integración la siguiente expresión:

$$[2.42] \quad q_{cil} = 2\pi L \lambda \frac{T_{si} - T_{se}}{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)}$$

Para obtener una conducción unidimensional, se habla de densidad de flujo de transmisión de calor por unidad de longitud. Por tanto:

$$[2.43] \quad \frac{q_{cil}}{L} = 2\pi \lambda \frac{T_{si} - T_{se}}{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)} \quad \text{o} \quad \frac{q_{cil}}{L} = 2\pi \lambda \frac{T_{si} - T_{se}}{\ln \left(\frac{D_e}{D_i} \right)}$$

Figura 14. Distribución de la T° en un elemento de forma cilíndrica y una sola capa.



Siendo la resistencia térmica del cilindro,

$$[2.44] \quad R_{cil} = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)}{2\pi \lambda} \quad \text{o} \quad R_{cil} = \frac{\ln \left(\frac{D_e}{D_i} \right)}{2\pi \lambda}$$

Donde:

- R_{cil} Resistencia térmica del cilindro (mK/W).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- L Longitud del cilindro (m).
- r_{si} Radio superficie interior (m).
- r_{se} Radio superficie exterior (m).
- D_{si} Diámetro superficie interior (m).
- D_{se} Diámetro superficie exterior (m).

Por lo tanto, la ecuación de la densidad de flujo de calor de la conducción para un elemento cilíndrico de una sola capa, queda simplificada de la siguiente manera:

$$[2.45] \quad q_{cil} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{cil}}$$

Donde:

- q_{cil} Flujo de calor del cilindro (W/m).
- R_{cil} Resistencia térmica del cilindro (mK/W).
- T_{si} Temperatura superficie interior (K).
- T_{∞} Temperatura exterior (K).

Se puede repetir el análisis anterior calculándolo para una capa esférica, al tomar $A = 4\pi r^2$, el resultado se expresa como,

$$[2.46] \quad q_{esf} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{esf}}$$

Donde:

- q_{esf} Flujo de calor de la esfera (W).
- R_{esf} Resistencia térmica del elemento cilíndrico (K/W).
- T_{si} Temperatura superficie interior (K).
- T_{se} Temperatura superficie exterior (K).

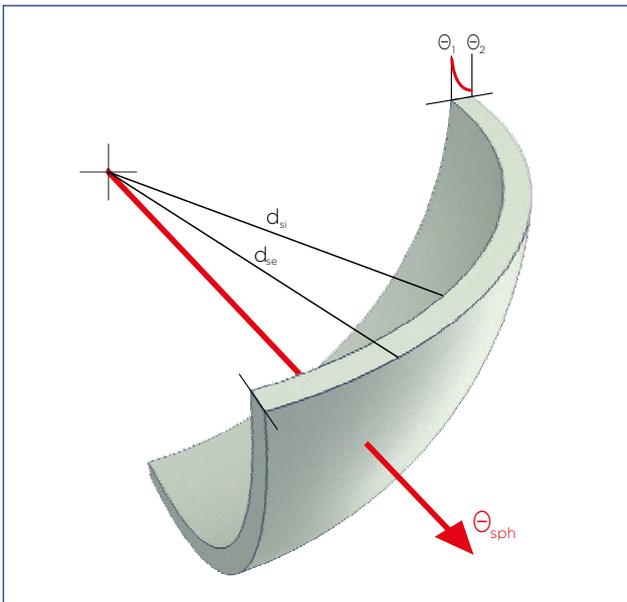
Donde la resistencia térmica de una capa esférica viene dada por:

$$[2.47] \quad R = \frac{r_{se} - r_{si}}{4\pi\lambda r_{si}r_{se}} \quad \text{o} \quad R = \frac{1}{2\pi\lambda} \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_e} \right)$$

Donde:

- R Resistencia térmica de la esfera (K/W).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- r_{si} Radio superficie interior (m).
- r_{se} Radio superficie exterior (m).
- D_{si} Diámetro superficie interior (m).
- D_{se} Diámetro superficie exterior (m).

Figura 15. Distribución de la temperatura en un elemento esférico de una sola capa.



b) Elementos cilíndricos y esféricos multicapa

La densidad de flujo por conducción en estado estacionario a través de elementos cilíndricos multicapa se puede expresar como:

$$[2.48] \quad q_{cil} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{cil,m}}$$

Donde:

- $q_{cil,m}$ Flujo del calor del cilindro (W/m).
- T_{si} Temperatura superficie interior (K).
- T_{se} Temperatura superficie exterior (K).
- R_{cil} Resistencia térmica del cilindro multicapa (mK/W).

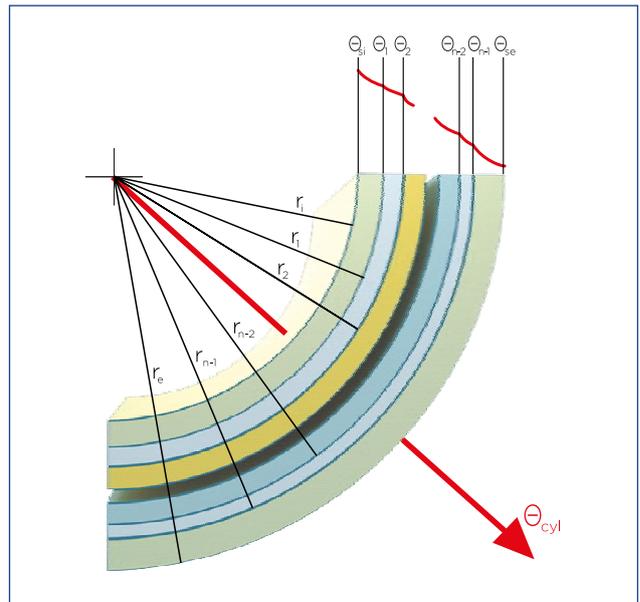
Siendo la resistencia térmica de un elemento cilíndrico multicapa

$$[2.49] \quad R_{cil,m} = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right)$$

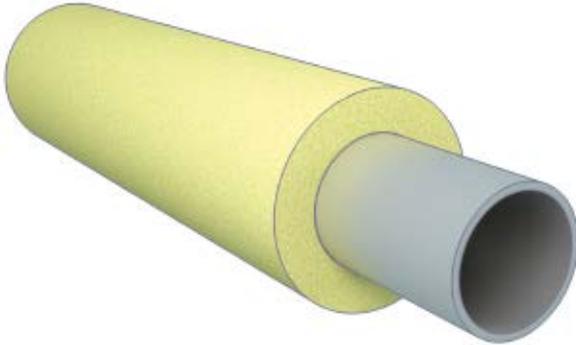
Donde:

- R_{cil} Resistencia térmica del cilindro multicapa (mK/W).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- D_{ij} Diámetro superficie interior (m).
- D_{ej} Diámetro superficie exterior (m).

Figura 16. Distribución de la temperatura en un elemento cilíndrico multicapa.



EJEMPLO 5: PERDIDA CALOR ELEMENTO CILINDRICO MULTICAPA



Considerando una tubería de acero de 6 m de longitud, diámetro $D_i = 100$ mm y espesor $d = 10$ mm, tiene una conductividad térmica de $\lambda = 50$ W/m·K. El tubo conduce un líquido a 340 °C y está cubierto con un aislamiento de Lana Mineral (TECH Pipe Section MT 4.1) de 80 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda_{200\text{ °C}} = 0.064$ W/m·K. La temperatura de la superficie interior es de $T_{si} = 340$ °C (613 K), siendo la temperatura exterior de $T_{se} = 59$ °C (332 K). Determine la pérdida de calor por conducción de la tubería.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable, dado que las temperaturas superficiales permanecen constantes en los valores especificados.
3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior hacia el exterior.
4. La conductividad térmica es constante en cada capa.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores y dado que el espesor del aislamiento es de $D = 80$ mm = 0.080 m, los datos obtenidos serían:

Parámetros	Capa 1	Capa 2
Diámetro interior (m)	$D_{i,1} = 0.100$	$D_{i,2} = 0,120$
Diámetro exterior (m)	$D_{e,1} = 0.120$	$D_{e,2} = 0.280$
Conductividad térmica (W/mk)	$\lambda_1 = 50$	$\lambda_2 = 0.063$

Por lo tanto, para determinar la pérdida de calor del tubo de agua caliente multicapa, tenemos en cuenta la ecuación [2.48]

$$q_{cil,m} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{cil,m}}$$

Siendo,

$$R_{cil} = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{D_{ej}}{D_{r_{ij}}} \right) = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{D_{e,1}}{D_{i,1}} \right) + \left(\frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{D_{e,2}}{D_{i,2}} \right) \right] = 2.14 \text{ mK/W}$$

Sustituyendo en la ecuación [2.50]:

$$q_{cyl,m} = \frac{(T_{si} - T_{se})}{R_{cyl,m}} = \frac{613 - 332}{2.11} = 133.17 \text{ W/m}$$

Para un elemento esférico multicapa, la transferencia de calor estacionaria se puede expresar como:

$$[2.48] \quad q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{esf,m}}$$

Donde:

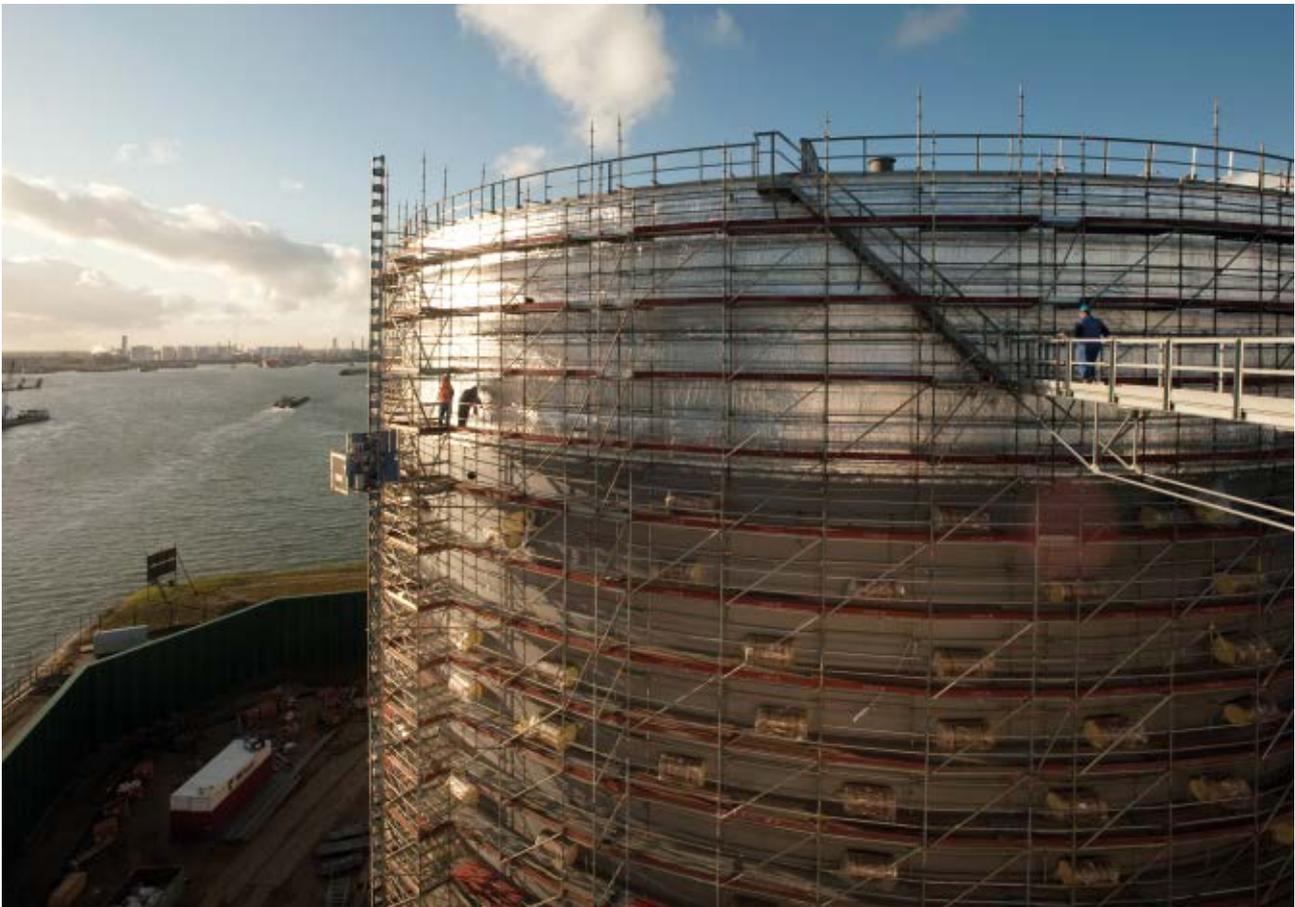
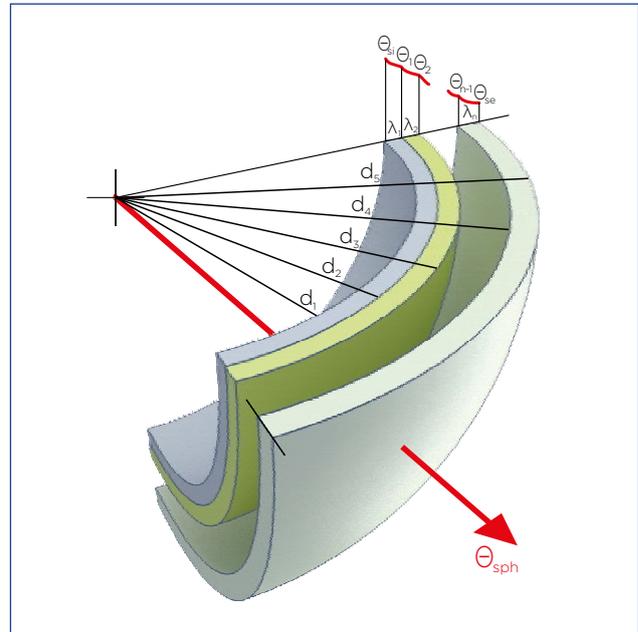
- q Flujo del calor esfera (W).
- T_{si} Temperatura superficie interior (K).
- T_{se} Temperatura superficie exterior (K).
- R_{esf} Resistencia térmica del cilindro multicapa (K/W), siendo su expresión.

$$[2.49] \quad R_{esf,mv} = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{D_{j-1}} - \frac{1}{D_j} \right)$$

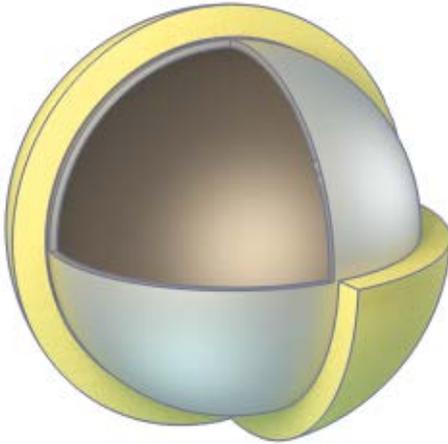
Donde:

- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- D_{ij} Diámetro superficie interior (m).
- D_{ej} Diámetro superficie exterior (m).

Figura 17. Distribución de la temperatura en un elemento esférico multicapa.



EJEMPLO 6: PÉRDIDA DE CALOR ELEMENTO ESFÉRICO MULTICAPA



Considerando un depósito esférico de acero ($\lambda = 50 \text{ W/mK}$) con un diámetro interno de 3m y de 1cm de espesor almacena sales fundidas a una temperatura de $T_{si} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ (773 K), siendo la temperatura de la superficie exterior de $T_{se} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ (373 K). En este caso, el depósito esférico está cubierto con un aislamiento de lana de mineral (TECH Wired Mat MT 5.1) de 100 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda_{300 \text{ }^\circ\text{C}} = 0.084 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Determine la pérdida de calor del depósito esférico.

SOLUCIÓN

1. Las dos superficies de la pared se mantienen a las temperaturas especificadas.
2. La transferencia de calor a través de la pared es estable, dado que las temperaturas superficiales permanecen constantes en los valores especificados.
3. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior hacia el exterior.
4. La conductividad térmica es constante en cada capa.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores mencionados y dado que el espesor del aislamiento es $d_2 = 0.1 \text{ m}$, los datos obtenidos son:

Parámetros	Capa 1	Capa 2
Diámetro interior (m)	$D_{i,1} = 3.00$	$D_{i,2} = 3.02$
Diámetro exterior(m)	$D_{e,1} = 3.02$	$D_{e,2} = 3.22$
Conductividad térmica (W/mk)	$\lambda_1 = 50$	$\lambda_2 = 0.083$

Por lo tanto, para determinar la pérdida de calor del depósito esférico multicapa, tenemos en cuenta la ecuación [2.50]:

$$q_{\text{esf},m} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{\text{esf},m}}$$

Siendo la resistencia térmica de la esfera con varias capas:

$$R_{\text{esf},m} = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{D_{j-1}} - \frac{1}{D_j} \right) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\lambda_1} \left(\frac{1}{D_{i,1}} - \frac{1}{D_{e,1}} \right) + \frac{1}{\lambda_2} \left(\frac{1}{D_{e,1}} - \frac{1}{D_{e,2}} \right) \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{50} \left(\frac{1}{3.00} - \frac{1}{3.02} \right) + \frac{1}{0.083} \left(\frac{1}{3.02} - \frac{1}{3.22} \right) \right] = 0.039 \text{ K/W}$$

Sustituyendo en la ecuación [2.50]:

$$q_{\text{esf},m} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{\text{esf},m}} = \frac{773 - 373}{0.039} = 10.256,41 \text{ W}$$

1.4.2.1. Resistencia térmica a la convección y a radiación para elementos cilíndricos y esféricos.

• Red de resistencias térmicas para elementos cilíndricos y esféricos de una capa

Si consideramos el flujo unidimensional en estado estacionario a través de una capa cilíndrica que está expuesta a la convección y a la radiación, la velocidad de la transferencia de calor se puede expresar como:

$$[2.52] \quad q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty e}}{R''_{total}}$$

Donde:

- q Flujo del calor esfera (W).
- $T_{\infty i}$ Temperatura superficie interior (K).
- $T_{\infty e}$ Temperatura superficie exterior (K).
- R''_{total} Resistencia térmica total del cilindro (mK/W), siendo su expresión:

$$[2.53] \quad R''_{total} = R_{sup,1} + R_{cil} + R_{sup,2} = \frac{1}{A_{s,1} h_{sup,1}} + \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi\lambda} + \frac{1}{A_{s,2} h_{sup,2}}$$

Donde:

- h_n Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección para incluir los efectos de radiación. (W/m²·K).
- $R_{sup,n}$ Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (K/W).
- $A_{s,n}$ Área de superficie del cilindro ($A = 2\pi r_n L$).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- D_i Diámetro superficie interior (m).
- D_e Diámetro superficie exterior (m).

En este caso también las resistencias térmicas están en serie y, por tanto, la resistencia térmica total se determina al sumar cada una de las resistencias, como las resistencias eléctricas conectadas en serie.

Para una capa esférica expuesta a convección y a radiación, si consideramos el flujo unidimensional en estado estacionario, la velocidad de la transferencia de calor se puede expresar como:

$$[2.54] \quad q = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty e}}{R''_{total}}$$

Donde:

- q Flujo del calor esfera (W).
- $T_{\infty i}$ Temperatura alejada de la superficie interior (K).
- $T_{\infty e}$ Temperatura alejada de la superficie exterior (K).
- R''_{total} Resistencia térmica total del cilindro (mK/W), siendo su expresión:

$$[2.55] \quad R''_{total} = R_{sup,i} + R_{esf} + R_{sup,e} = \frac{1}{A_{s,i} h_{sup,i}} + \frac{1}{2\pi\lambda} \frac{1}{D_i D_e} + \frac{1}{A_{s,e} h_{sup,e}}$$

Donde:

- h_n Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección para incluir los efectos de radiación. (W/m²·K).
- $R_{sup,n}$ Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (K/W).
- $A_{s,n}$ Área de superficie de la esfera ($A = 2\pi r_n^2$).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- D_i Diámetro superficie interior (m).
- D_e Diámetro superficie exterior (m).

En este caso también las resistencias térmicas están en serie y, por tanto, la resistencia térmica total se determina al sumar cada una de las resistencias, como las resistencias eléctricas conectadas en serie.

Figura 18. Red de resistencias térmicas para elemento cilíndrico (o esférico) expuesto a convección tanto en el lado interior como en el exterior.

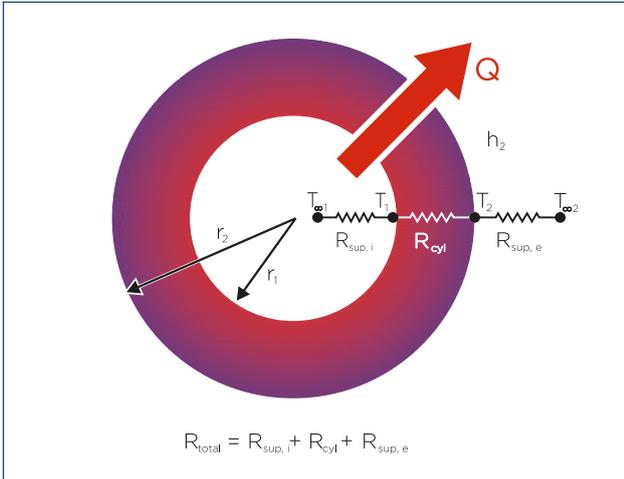
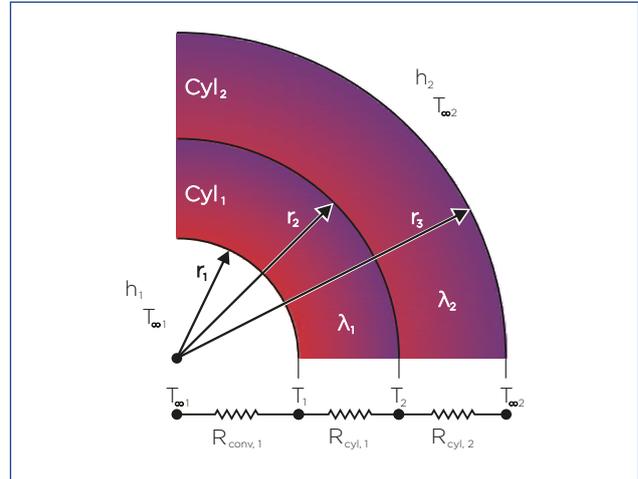


Figura 19. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de dos capas expuesto a convección a ambos lados.



• Red de resistencias térmicas para elementos cilíndricos y esféricos multicapa

La transferencia de calor estacionaria a través de elementos cilíndricos o esféricos de varias capas se puede analizar como en las paredes planas de capas múltiples mencionadas anteriormente, sumando una resistencia adicional en serie por cada capa adicional.

La velocidad de la transferencia de calor estacionaria a través de elementos cilíndricos multicapa expuestos a convección y radiación se puede expresar como:

$$[2.56] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R''_{total}}$$

Donde:

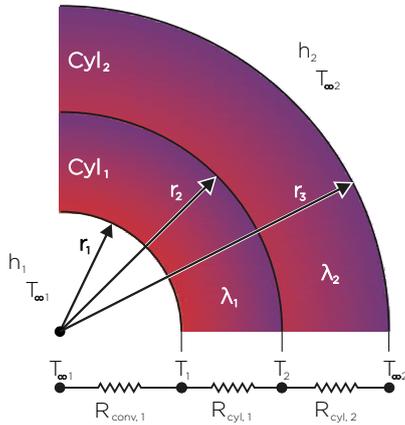
- q Flujo del calor cilindro (W).
- T_{∞i} Temperatura alejada de la superficie interior (K).
- T_{∞e} Temperatura alejada de la superficie exterior (K).
- R_{total} Resistencia térmica total del cilindro (mK/W), siendo su expresión:

$$[2.57] \quad R''_{total} = R_{sup,i} + R_{cil} + R_{sup,e} = \frac{1}{A_{s,i} h_{sup,i}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{e,1}}{r_{i,1}}\right)}{2\pi\lambda} + \frac{\ln\left(\frac{r_{e,2}}{r_{e,1}}\right)}{2\pi\lambda_2} + \frac{1}{A_{s,e} h_{sup,e}}$$

Donde:

- h_n Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección para incluir los efectos de radiación. (W/m²·K).
- R_{cil} Resistencia térmica del cilindro (K/W).
- R_{sup,n} Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (K/W).
- A_{s,n} Área de superficie del cilindro (A = 2πr_nL).
- λ Conductividad térmica del material (W/m·K).
- Di Diámetro superficie interior (m).
- De Diámetro superficie exterior (m).

EJEMPLO 7: RED RESISTENCIAS TÉRMICAS ELEMENTO CILÍNDRICO MULTICAPA



Considerando el **ejemplo 5**: Una tubería de acero ($\lambda = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 6 m de longitud, diámetro $D_i = 100 \text{ mm}$ y espesor $d = 10 \text{ mm}$, conduce un líquido, siendo la temperatura en el interior de $T_{\infty i} = 340 \text{ }^\circ\text{C}$ (613 K). En este caso, la tubería está cubierta con un aislamiento de lana de mineral (TECH Pipe Section MT 4.1) de 80 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 0.063 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Se pierde calor hacia los alrededores que están a una temperatura $T_{\infty e} = 59 \text{ }^\circ\text{C}$ (332 K) por convección natural y radiación, con un coeficiente superficial de transferencia de calor de $h_e = 6 \text{ W/m}^2$. Determine la pérdida de calor del tubo de agua caliente.

SOLUCIÓN

1. La transferencia de calor es estable dado que las condiciones térmicas especificadas se mantienen con el tiempo.
2. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera de los gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior al exterior.
3. La conductividad térmica es constante en cada capa.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y dado que el espesor del aislamiento es $d = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$, los datos obtenidos serán:

Parámetros	Capa 1	Capa 2
Diámetro interior(m)	$D_{i,1} = 0,100$	$D_{i,2} = 0,120$
Diámetro exterior(m)	$D_{e,1} = 0,120$	$D_{e,2} = 0,280$
Conductividad térmica (W/mk)	$\lambda_1 = 50$	$\lambda_2 = 0.063$

Por lo tanto, para determinar la pérdida de calor del tubo de agua caliente expuesto a convección y radiación, tenemos en cuenta la ecuación [2.56]:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R''_{total}}$$

Ya que todas las resistencias están en serie se determina que la resistencia total es:

$$R''_{total} = R_{sup,i} + R_{cil} + R_{sup,e} = \frac{\ln\left(\frac{D_{e,1}}{D_{i,1}}\right)}{2\pi\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_{e,2}}{D_{e,1}}\right)}{2\pi\lambda_2} + \frac{1}{A_{s,e}h_{sup,e}}$$

$$R''_{total} = R_{sup,i} + R_{cil,1} + R_{cil,2} + R_{sup,e} = \frac{\ln\left(\frac{D_{e,1}}{D_{i,1}}\right)}{2\pi\lambda_1} + \frac{\ln\left(\frac{D_{e,2}}{D_{e,1}}\right)}{2\pi\lambda_2} + \frac{1}{(2\pi r_{e,2}L)h_2}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0.050 \cdot 6 \cdot 20} + \frac{\ln\left(\frac{0.120}{0.100}\right)}{2\pi 50} + \frac{\ln\left(\frac{0.280}{0.120}\right)}{2\pi 0,063} + \frac{1}{\pi \cdot 0.280 \cdot 6}$$

$$R''_{total} = 0,00058 + 2,14 + 0,1895 = 2,331 \text{ mK/W}$$

Entonces sustituyendo en la ecuación [2.56], la pérdida de calor sería:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R''_{total}} = \frac{(613 - 332) \text{ K}}{2,331 \text{ K/W}} = 120,57 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Como podemos observar con respecto al ejemplo 5, la pérdida de calor es inferior, se produce una desaceleración de la transferencia de calor, al tener en cuenta los coeficientes superficiales de transmisión de calor.

Nota: $R_{\text{surf},i}$ es 0 ya que h_i tiende a infinito en el caso de líquidos.

La velocidad de la transferencia de calor estacionaria a través de elementos esféricos multicapa expuestos a convección y radiación se puede expresar como:

$$[2.58] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R''_{total}}$$

Donde:

q Flujo del calor esfera (W).

$T_{\infty i}$ Temperatura alejada de la superficie interior (K).

$T_{\infty e}$ Temperatura alejada de la superficie exterior (K).

R_{total} Resistencia térmica total de la esfera (mK/W), siendo su expresión:

$$[2.59] \quad R''_{total} = R_{\text{sup},i} + R_{\text{sph}} + R_{\text{sup},e} = \frac{1}{A_{s,i} h_{\text{sup},i}} + \frac{(r_{e,1} - r_{i,1})}{4\pi r_{i,1} r_{e,1} \lambda} + \frac{(r_{e,2} - r_{e,1})}{4\pi r_{e,1} r_{e,2} \lambda} + \frac{1}{A_{s,e} h_{\text{sup},e}}$$

Donde:

h_n Coeficiente superficial de transmisión de calor por convección y radiación. (W/m²·K).

R_{esf} Resistencia térmica de la esfera (K/W).

$R_{\text{sup},n}$ Resistencia térmica expuesta a convección y a radiación (K/W).

$A_{s,n}$ Área de superficie de la esfera ($A = 4\pi r^2$).

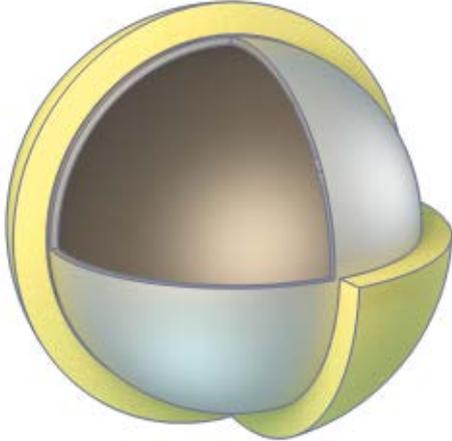
λ Conductividad térmica del material (W/m·K).

D_i Diámetro superficie interior (m).

D_e Diámetro superficie exterior (m).

Una vez más, las resistencias están en serie, y como consecuencia, la resistencia térmica total es simplemente la suma aritmética de cada una de las resistencias térmicas en la trayectoria del flujo de calor.

EJEMPLO 8: RED DE RESISTENCIAS TÉRMICAS ELEMENTO ESFÉRICO MULTICAPA



Considerando el EJEMPLO 6: Un depósito esférico de acero ($\lambda = 50 \text{ W/mK}$) con un diámetro interno de 3 m y de 1 cm de espesor almacena sales fundidas a una temperatura de $T_{si} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ (773 K). En este caso, el depósito esférico está cubierto con un aislamiento de lana de mineral (TECH Wired Mat MT 5.1) de 100 mm de espesor y conductividad térmica $\lambda_{300 \text{ }^\circ\text{C}} = 0.083 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. El depósito esférico está ubicado en el exterior, siendo la temperatura de $T_{se} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ (373 K). La transferencia de calor entre la superficie exterior del mismo y los alrededores es por convección natural y radiación. Los coeficientes superficiales de transferencia de calor del interior y exterior son $h_i = 20 \text{ W/m}^2$ y $h_e = 5 \text{ W/m}^2$ respectivamente. Determine la pérdida de calor del depósito esférico.

SOLUCIÓN

1. La transferencia de calor es estable dado que las condiciones térmicas especificadas no cambian en el tiempo.
2. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera de los gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior al exterior.
3. La conductividad térmica es constante en cada capa.

Dado que:

Parámetros	Capa 1	Capa 2
Diámetro interior(m)	$D_{i,1} = 3.0$	$D_{i,2} = 3.02$
Diámetro exterior(m)	$D_{e,1} = 3.02$	$D_{e,2} = 3.22$
Conductividad térmica (W/mk)	$\lambda_1 = 50$	$\lambda_2 = 0.083$

Por lo tanto, para determinar el flujo de calor del depósito esférico, tenemos en cuenta la ecuación [2.58]:

$$q_{sph} = \frac{T_{\infty i} - T_{\infty e}}{R_{sph}}$$

Ya que todas las resistencias están en serie se determina que la resistencia total es:

$$R''_{total} = R_{sup,i} + R_{est} + R_{sup,e} = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \left(\frac{1}{D_{i,1}} - \frac{1}{D_{e,1}} \right) + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \left(\frac{1}{D_{e,1}} - \frac{1}{D_{e,2}} \right) + \frac{1}{A_{s,e,2} h_{sup,e}} = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \left(\frac{1}{D_{i,1}} - \frac{1}{D_{e,1}} \right) + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \left(\frac{1}{D_{e,1}} - \frac{1}{D_{e,2}} \right) + \frac{1}{4\pi r_{e,2}^2 h_e}$$

$$R''_{total} = \frac{1}{2\pi \cdot 50} \left(\frac{1}{3.0} - \frac{1}{3.02} \right) + \frac{1}{2\pi \cdot 0.083} \left(\frac{1}{3.02} - \frac{1}{3.22} \right) + \frac{1}{4\pi \cdot 1.61^2 \cdot 6}$$

$$R''_{total} = 7.026 \cdot 10^{-6} + 0.0394 + 0.00511 = 0.044 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Entonces sustituyendo en la ecuación [2.58], la pérdida de calor sería:

$$q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R''_{total}} = \frac{(773 - 373) \text{ K}}{0.0458 \text{ k/W}} = 9,090.91 \text{ W}$$

Nota: $R_{surf,i}$ es 0 ya que h_i infinito para el caso de líquidos.

1.4.3. En secciones rectangulares

La velocidad de transferencia de calor a través de la pared de un conducto con sección rectangular viene dada por:

$$[2.60] \quad q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{rect}}$$

Donde:

q Flujo del calor de la sección rectangular (W/m).

T_{si} Temperatura superficie interior (K).

T_{se} Temperatura superficie exterior (K).

R_{rect} Resistencia térmica de la pared del conducto (m K/W), puede calcularse de forma aproximada mediante la siguiente expresión:

$$[2.61] \quad R_{rect} = \frac{2d}{\lambda(P_e + P_i)} \text{ (mk)/W}$$

Donde:

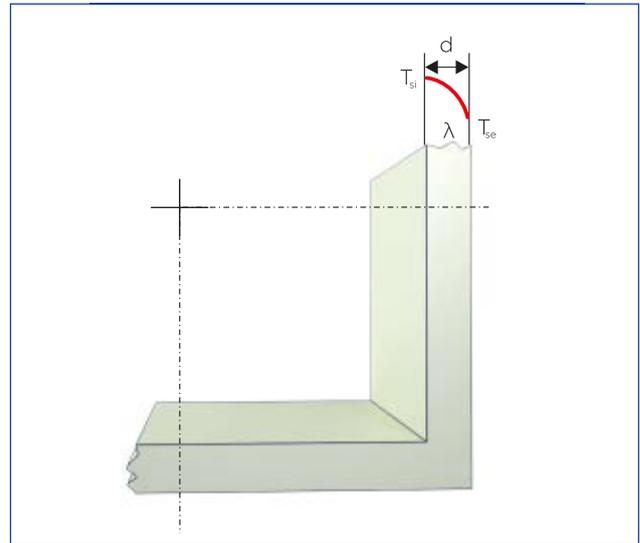
P_i Perímetro interior del conducto.

P_e Perímetro exterior del conducto, siendo su expresión:

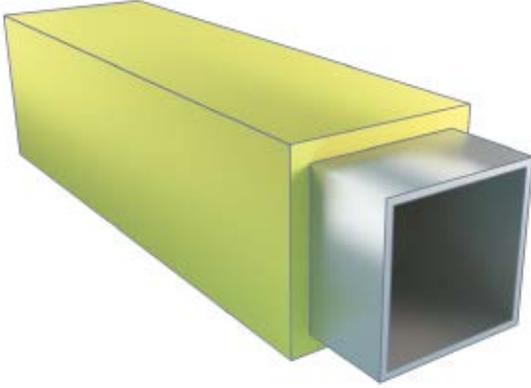
$$[2.62] \quad P_e = P_i + (8 \cdot d)$$

d Espesor de la capa aislante (m).

Figura 20. Distribución de temperatura en la pared de un conducto rectangular.



EJEMPLO 9: PÉRDIDA DE CALOR EN SECCIONES RECTANGULARES



Se considera un conducto de recuperación de gases calientes de 3,00 m de largo por 1 m de ancho y 1 m de alto, cuya temperatura interior y exterior es de $T_{si}=360\text{ }^{\circ}\text{C}$ (633K) y $T_{se}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (313 K), respectivamente. Dicho conducto está cubierto con un panel de Lana Mineral (TECH Slab MT 5.1) de espesor 200 mm y cuya conductividad térmica es de $\lambda_{200\text{ }^{\circ}\text{C}}=0.063\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Determine la pérdida de calor del conducto de recuperación de gases.

SOLUCIÓN

1. La transferencia de calor es estable dado que las condiciones térmicas especificadas no cambian en el tiempo.
2. La transferencia de calor es unidimensional, puesto que cualesquiera de los gradientes significativos de temperatura existirán en la dirección del interior al exterior.
3. La conductividad térmica es constante.

Dado que el largo del conducto es 1 m, el ancho es 0,5 y el espesor del aislamiento es 40 mm (0,04 m), el perímetro interior y exterior sería:

$$P_i = 1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 = 4\text{ m}$$

$$P_e = P_i + (8 \cdot 0.2) = 5.6\text{ m}$$

Para determinar la pérdida de calor del conducto de aire acondicionado, tenemos en cuenta la ecuación [2.60]:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{rect}}$$

Donde la resistencia térmica del conducto puede calcularse de forma aproximada mediante:

$$R_{rect} = \frac{2d}{\lambda(P_e + P_i)} = \frac{2 \cdot 0,2}{0.063(4 + 5.6)} = 0.661\text{ (m}\cdot\text{K)/W}$$

Por lo tanto,

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_{rect}} = \frac{633 - 313}{0.661} = 484,12\text{ W/m}$$

$$q = 121,03\text{ W/m}^2$$

1.5. Transmitancia térmica

La transmitancia térmica, U , para una pared plana es la cantidad de flujo de calor que en estado estacionario pasa por unidad de área, y es dividida por la diferencia de temperatura en los alrededores de ambas caras de la pared. Análogas expresiones tendrían paredes cilíndricas y esféricas según:

$$U = \frac{q}{T_i - T_{\infty 2}} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad U_{cil} = \frac{q_{cil}}{T_i - T_{\infty 2}} \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \quad U_{esf} = \frac{q_{esf}}{T_i - T_{\infty 2}} \text{ W/K}$$

Donde:

- U Transmitancia térmica ($\text{W/m}^2 \text{ K}$).
- U_{cyl} Transmitancia térmica elemento cilíndrico (W/m K).
- U_{sph} Transmitancia térmica elemento esférico (W/K).
- q Densidad de flujo del calor pared plana (W/m).
- q_{cil} Densidad de flujo del calor elemento cilíndrico (W/m).
- q_{esf} Densidad de flujo del calor elemento esférico (W/m).
- T_1 Temperatura superficie interior (K).
- $T_{\infty 2}$ Temperatura alejada de la superficie exterior (K).

La transmitancia térmica tiene en cuenta los diferentes componentes del material, es decir, no solo debemos tener en cuenta la resistencia térmica del material, sino también otras resistencias suplementarias, denominadas resistencias térmicas superficiales interna y externa, debidas a las dificultades de cambios de calor entre el material y el aire (transferencias de calor por convección y radiación). Por tanto, la transmitancia térmica puede calcularse de la siguiente manera:

• Para paredes planas,

$$[2.63] \quad \frac{1}{U} = R_{si} + \sum R_{pared,i} + R_{se} = \frac{1}{h_i} + \sum R_{pared,i} + \frac{1}{h_e}$$

Donde:

- U Transmitancia térmica ($\text{W/m}^2 \text{ K}$).
- R_{si} Resistencia superficie interior ($\text{m}^2 \text{ K/W}$).
- R_{se} Resistencia superficie exterior ($\text{m}^2 \text{ K/W}$).
- R_{pared} Resistencia térmica pared plana ($\text{m}^2 \text{ K/W}$). $[R_{pared} = \frac{d}{\lambda}]$
- h_i Coeficiente de transmisión superficial de calor interior ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).
- h_e Coeficiente de transmisión superficial de calor exterior ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).

• Para paredes cilíndricas,

$$[2.64] \quad \frac{1}{U_{cil}} = R_{si} + \sum R_{cil,i} + R_{se} = \frac{1}{h_i \cdot \pi \cdot D_i} + \sum R_{cil,i} + \frac{1}{h_e \cdot \pi \cdot D_e}$$

Donde:

- U Transmitancia térmica elemento cilíndrico ($\text{W/m}^2 \text{ K}$).
- R_{si} Resistencia superficie interior ($\text{m}^2 \text{ K/W}$).
- R_{se} Resistencia superficie exterior ($\text{m}^2 \text{ K/W}$).
- R_{cil} Resistencia térmica elemento cilíndrico ($\text{m}^2 \text{ K/W}$). $[R_{cil} = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi\lambda}]$ o $R_{cil} = \frac{\ln(D_e/D_i)}{2\pi\lambda}$
- h_i Coeficiente de transmisión superficial de calor interior ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).
- h_e Coeficiente de transmisión superficial de calor exterior ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$).
- D_i Diámetro interior (m).
- D_e Diámetro exterior (m).

• **Para paredes esféricas, la transmitancia térmica U_{esf} viene dada por:**

$$[2.65] \quad \frac{1}{U_{esf}} = R_{si} + \sum R_{esf,i} + R_{se} = \frac{1}{h_i \cdot \pi \cdot D_i^2} + \sum R_{esf,i} + \frac{1}{h_e \cdot \pi \cdot D_e^2}$$

Donde:

U Transmitancia térmica elemento cilíndrico ($W/m^2 \cdot K$).

R_{si} Resistencia superficie interior ($m^2 K/W$).

R_{se} Resistencia superficie exterior ($m^2 K/W$).

R_{esf} Resistencia térmica elemento esférico (k/W) [$R_{esf} = \frac{r_{se} - r_{si}}{2\pi\lambda r_{si}r_{se}}$ o $R_{esf} = \frac{1}{2\pi\lambda} (\frac{1}{D_e} - \frac{1}{D_i})$]

h_i Coeficiente de transmisión superficial de calor interior ($W/m^2 \cdot K$).

h_e Coeficiente de transmisión superficial de calor exterior ($W/m^2 \cdot K$).

D_i Diámetro interior (m).

D_e Diámetro exterior (m).

El valor de h_i es muy elevado, por lo que la resistencia superficial, R_{si} , de líquidos en el interior de depósitos y tuberías es pequeña y se puede despreciar. Para la resistencia superficial exterior R_{se} , se aplican las ecuaciones indicadas. Para conductos de aire es necesario considerar también el coeficiente superficial interior.

La inversa de la transmitancia térmica es:

• **Para paredes planas la resistencia térmica total,**

$$[2.66] \quad \frac{1}{U} = R_T$$

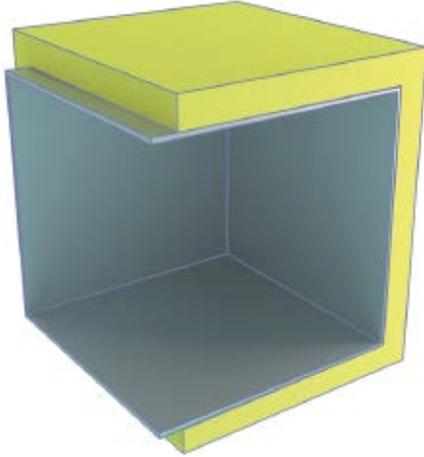
• **Para paredes cilíndricas, la resistencia térmica total lineal,**

$$[2.67] \quad \frac{1}{U_{cil}} = R_{Tcil}$$

• **Para paredes esféricas, la resistencia térmica total dada es,**

$$[2.68] \quad \frac{1}{U_{esf}} = R_{Tesf}$$

EJEMPLO 10: CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA EN UNA PARED PLANA



A modo de ejemplo, considerando una pared de doble capa de un horno cuya temperatura interior y exterior es de $T_{si} = 750 \text{ }^\circ\text{C}$ (1,023 K) y $T_i = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ (323 K), consta de los siguientes materiales:

1ª Capa: Material refractario "Ladrillo de circonio" con una conductividad térmica de $\lambda_1 = 2.44 \text{ W/mK}$ y un espesor de $d = 0.150 \text{ m}$.

2ª Capa: Panel de Lana de Roca "TECH Slab HT 6.1" con una conductividad térmica de $\lambda_2 = 0.102 \text{ W/mK}$ y un espesor de $d = 0.250 \text{ m}$.

Siendo el coeficiente superficial exterior $h_e = 7.76 \text{ W/(m}^2\text{k)}$ y teniendo en cuenta que no se considera el coeficiente superficial interior, determine la transmitancia térmica.

De acuerdo a lo visto en este apartado, la transmitancia térmica de una pared plana viene dada por:

$$\frac{1}{U} = R_{si} + \sum R_{\text{pared},i} + R_{se} = \frac{1}{h_i} + \sum R_{\text{pared},i} + \frac{1}{h_e}$$

$$U = \frac{1}{\frac{0.150}{2.44} + \frac{0.250}{0.102} + \frac{1}{7.76}} = 0.403 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2. Distribución de temperaturas

2.1. Temperaturas intermedias

La velocidad de transferencia de calor a través de una pared que separa “n” medios es igual a la diferencia de temperatura dividida entre la resistencia térmica total entre los medios. En este caso, las resistencias térmicas están en serie y la resistencia equivalente se determina al sumar cada una de las resistencias. La ecuación general que nos da la pérdida de calor en un elemento multicapa puede escribirse de la siguiente forma general:

$$[2.69] \quad q = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_T}$$

Donde:

$T_{\infty 1}$ Temperatura alejada de la superficie interior (K).
 $T_{\infty 2}$ Temperatura alejada de la superficie exterior (K).

Siendo la resistencia total:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

Donde:

R_1 Resistencia térmica de la capa 1.
 R_2 Resistencia térmica de la capa 2.
 R_n Resistencia térmica de cada capa individual.
 R_{si} Resistencia térmica superficial de la superficie interior.
 R_{se} Resistencia térmica superficial de la superficie exterior.

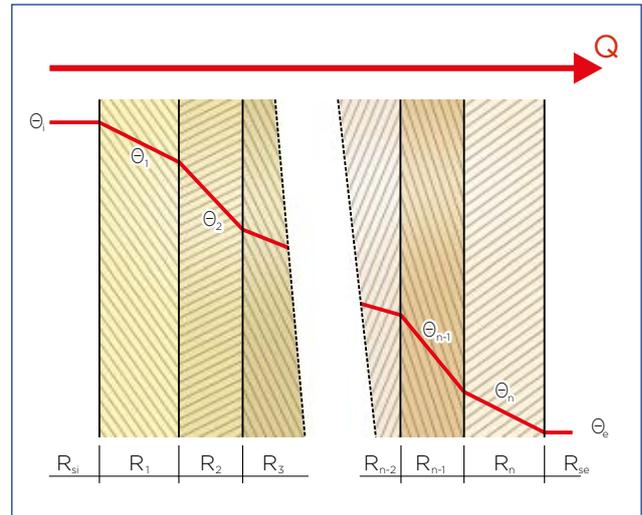
Considerando pared plana multicapa, la relación entre la resistencia de cada capa o de la resistencia superficial respecto a la resistencia total dará una medida de la caída de temperatura en cada capa o superficie (K), de este modo, la caída de la temperatura a través de cualquier capa es proporcional a la resistencia de ésta. Cuanto mayor sea la resistencia, mayor es la caída de temperatura. De hecho, la ecuación [4.65] se puede reacomodar para obtener:

$$[2.70] \quad \Delta T = qR$$

Donde:

ΔT Caída de temperatura (K).
 q Flujo de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).
 R Resistencia térmica a través de la capa ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$).

Figura 21. Distribución de temperatura en una pared plana multicapa, mostrando la dependencia lineal de la resistencia térmica superficial y las resistencias térmicas de cada capa independiente.



En ocasiones resulta conveniente expresar la transferencia de calor a través de un medio de una manera análoga a Ley de Newton del enfriamiento, como

$$[2.71] \quad q = U\Delta T = U (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$

Donde U es la transferencia de calor total. La comparación de la ecuación [2.67] y [2.69] revela que $U = 1/R_{total}$, como se mencionó en el apartado anterior.

Para la obtención de los valores de R_1 , R_2 , R_{si} , R_{se} y R_T se emplean las siguientes ecuaciones:

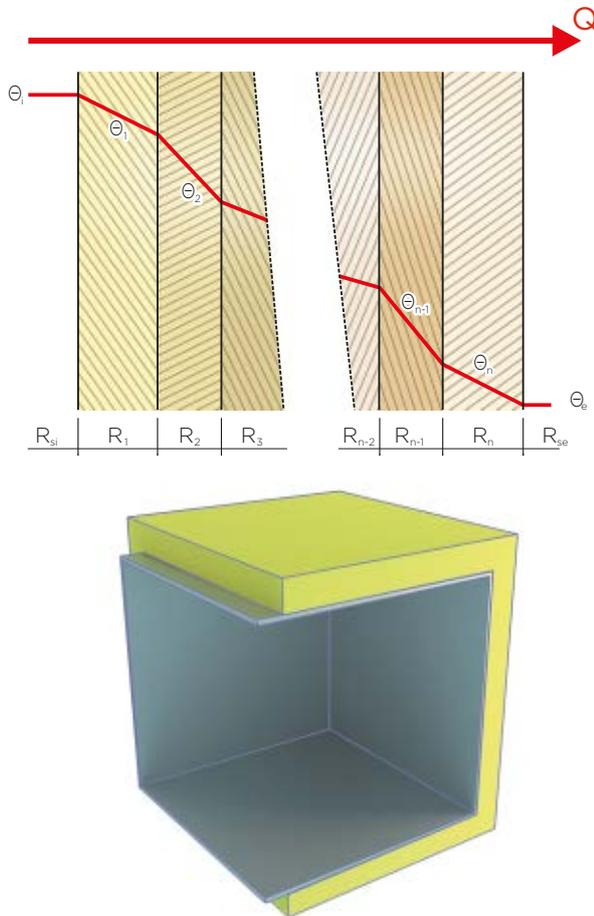
$$[2.72] \quad T_1 - T_2 = \frac{R_1}{R_T} \cdot (T_i - T_a)$$

$$[2.73] \quad T_i - T_{si} = \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (T_i - T_a)$$

$$[2.74] \quad T_2 - T_3 = \frac{R_2}{R_T} \cdot (T_i - T_a)$$

$$[2.75] \quad T_{se} - T_a = \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (T_i - T_a)$$

EJEMPLO 11: CÁLCULO DE TEMPERATURAS INTERMEDIAS



Basándonos en el "EJEMPLO 10": Considerando una pared de doble capa de un horno cuya temperatura interior y exterior es de $T_{si} = 750$ (1,023 K) y $T_e = 50$ °C (323 K) siendo la transmitancia térmica de $U = 0.661$ W/m²K, consta de los siguientes materiales:

1ª Capa: Material refractario "Ladrillo de circonio" con una conductividad térmica de $\lambda_1 = 2.44$ W/mK y un espesor de $d = 0,100$ m.

2ª Capa: Panel de Lana de Roca "TECH Slab MT 5.1" con una conductividad térmica de $\lambda_2 = 0.102$ W/mK y un espesor de $d = 0,200$ m.

Siendo el coeficiente superficial exterior $h_e = 7,76$ W/(m²K) y teniendo en cuenta que no se considera el coeficiente superficial interior. Suponiendo que el régimen de transferencia de calor es estacionario y no hay acumulación, calcule la temperatura superficial en cada uno de los materiales que componen la pared del horno.

SOLUCIÓN

1. Se calcula la cantidad de calor que está atravesando la pared, en base a la ecuación [2,69]:

$$q = U\Delta T = U (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) = 0,661 (1.023 - 323) = 462,7 \text{ W/m}^2$$

2. Como se supone estado estacionario, esta cantidad de calor es la que atraviesa cada una de las capas del material y, por tanto:

$$T_1 - T_2 = \frac{R_1}{R_T} \cdot (T_i - T_a) = q \cdot R_1 = 462,7 \cdot \frac{0,100}{2,44} = 18,96 \text{ °C}$$

$$T_2 - T_3 = \frac{R_2}{R_T} \cdot (T_i - T_a) = q \cdot R_2 = 462,7 \cdot \frac{0,200}{0,109} = 848,99 \text{ °C}$$

$$T_{se} - T_a = \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (T_i - T_a) = q \cdot R_{se} = 462,7 \cdot \frac{1}{7,76} = 59,63 \text{ °C}$$

2.2. Temperatura superficial

Dado que no es posible conocer todos los parámetros que entran en juego, resulta difícil garantizar la temperatura superficial.

El cálculo de la temperatura superficial se usa normalmente para determinar un valor límite de la temperatura de la instalación por razones de seguridad.

El cálculo teórico puede variar en la práctica por distintas condiciones. Estas pueden ser: la temperatura ambiente, el movimiento del aire, el estado de la superficie del aislamiento, el efecto radiativo de los cuerpos adyacentes, condiciones meteorológicas,...

Para la obtención de la temperatura superficial partimos de la fórmula anterior; despreciando la R_{si} , como se ha indicado antes:

$$[2.74] \quad T_{se} = T_a + \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (T_i - T_a)$$

Al sustituir los valores R_{se} y R_T , para una sola capa de aislante:

• **Para paredes planas:**

$$[2.75] \quad T_{se} = T_a + \frac{(T_i - T_a)}{\frac{h_e \cdot d}{\lambda} + 1}$$

• **Para paredes cilíndricas:**

$$[2.76] \quad T_{se} = T_a + \frac{(T_i - T_a)}{\frac{h_e \cdot D_e}{2\lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + 1}$$



3. Prevención de condensación superficial

En instalaciones con temperatura superficial inferior a la de rocío del ambiente, se produce condensación.

El cálculo de un espesor de aislamiento adecuado permite que esta temperatura superficial sea igual o superior a la de rocío, lo que evitará las condensaciones.

Además de los datos para el cálculo de la temperatura superficial, necesitamos el de la humedad relativa del aire ambiente, que a veces no es conocida o sólo puede estimarse. Cuanto más elevada es la humedad relativa, más difícil es obtener un valor preciso, por lo que las fluctuaciones de humedad o de temperatura superficial son determinantes.

• Para superficies planas:

Previamente y mediante tablas se debe de obtener la temperatura de rocío T_d , que al sustituir nos deja como incógnita el espesor d :

$$[2.79] \quad d \geq \frac{\lambda}{h_e} \cdot \frac{T_d - T_i}{T_a - T_d}$$

Donde:

- d Espesor superficies planas (m).
- λ Conductividad térmica del material (W/mK).
- h_e Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m²K).
- T_d Temperatura de rocío (°C).
- T_i Temperatura interior (°C).
- T_a Temperatura ambiente (°C).

• Para paredes cilíndricas:

El espesor ($D_e = D_i + 2d$) aparece dentro y fuera del logaritmo, por lo que es necesario emplear un sistema iterativo:

$$[2.80] \quad \frac{D_e}{2} \ln \frac{D_e}{D_i} \geq \frac{\lambda}{h_e} \cdot \frac{T_d - T_i}{T_a - T_d}$$

Donde:

- D_e Diámetro exterior pared cilíndrica (m).
- D_i Diámetro interior pared cilíndrica (m).
- λ Conductividad térmica del material (W/mK).
- h_e Coeficiente superficial de transmisión de calor (W/m²K).
- T_d Temperatura de rocío (°C).
- T_i Temperatura interior (°C).
- T_a Temperatura ambiente (°C).

4. Aplicaciones especiales

4.1. Cambio de temperatura longitudinal en una tubería

Para obtener el valor exacto del cambio de temperatura de un fluido a lo largo de una tubería, se aplica la siguiente ecuación:

$$[2.81] \quad T_{fm} - T_a = (T_{im} - T_a)e^{-\alpha l}$$

Donde:

T_{im} Temperatura inicial del fluido (°C).

T_{fm} Temperatura final del fluido (°C).

T_a Temperatura ambiente (°C).

l Longitud de la tubería (m).

Siendo α (m^{-1}):

$$[2.82] \quad \alpha = \frac{U_i 3.6}{m C_p}$$

Donde:

U_i Transmisión térmica lineal (W/mK).

m Flujo másico medio (kg/h).

C_p Calor específico presión constante (kJ/(kgK)).

Como en la práctica el cambio de temperatura aceptable es normalmente pequeño, se aplica la siguiente ecuación para un cálculo aproximado:

$$[2.83] \quad \Delta T = \frac{q_i \cdot l \cdot 3.6}{m \cdot C_p}$$

Donde:

ΔT Cambio de temperatura longitudinal (°C).

q_i^* Densidad lineal de flujo de calor (W/m).

l Longitud de la tubería (m).

m Flujo másico medio (kg/h).

C_p Calor específico presión constante (kJ/(kgK)).

** La densidad lineal de flujo se puede calcular sólo en el caso de que se conozca la temperatura media del fluido, lo que supone que ΔT debe ser conocida, para lo que es preciso utilizar un método de cálculo iterativo partiendo de un valor ΔT estimado. Es preciso repetir el procedimiento iterativo tantas veces como sea necesario hasta que la variación de ΔT sea aceptable.*

EJEMPLO 12: CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TEMPERATURA DE UNA TUBERÍA DE VAPOR CALIENTE

Determine la caída de temperatura de un fluido a lo largo de una tubería, con las siguientes condiciones de contorno:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| • Temperatura inicial | $T_{im} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| • Temperatura ambiente | $T_a = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| • Diámetro de la tubería | $D_i = 0.1 \text{ m}$ |
| • Espesor del aislamiento | $e = 40 \text{ mm}$ |
| • Flujo de masa medio | $\dot{m} = 45,000 \text{ kg/h}$ |
| • Conductividad térmica del aislamiento entre $250 \text{ }^\circ\text{C}$ y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ | $\lambda = 0.061 \text{ W/(mK)}$ |
| • Longitud de la tubería | $l = 2,000 \text{ m}$ |
| • Calor específico | $C_p = 2.233 \text{ kJ/(kgK)}$ |

Los coeficientes superficiales interior y exterior se consideran despreciables en este ejemplo. Esto proporciona una densidad lineal del flujo de calor:

$$q = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{D_e}{D_i}} (T_{si} - T_{sc}) = \frac{2\pi \cdot 0,061}{\ln \frac{0,180}{0,100}} (250 - (-10)) = 169.53 \text{ W/m}$$

Para calcular la caída de temperatura con más exactitud se utiliza la ecuación

$$T_{fm} - T_a = (T_{im} - T_a)e^{-\alpha l}$$

donde α :

$$\alpha = \frac{U_l \cdot 3.6}{m C_p}$$

Donde U_l es [Equation 2.80]:

$$U_l = \frac{q_l}{T_i - T_a} = \frac{169.53}{260} = 0.652 \text{ W/mK}$$

Por la tanto, la temperatura final será:

$$T_{fm} = T_a + (T_{im} - T_a)e^{-\alpha l} = -10 + (250 + 10)e^{-(2.33 \cdot 10^{-5} \cdot 2000)} = 238.16 \text{ }^\circ\text{C}$$

4.2. Cambio de temperatura y tiempo de enfriamiento en acumuladores y depósitos

El tiempo de enfriamiento para un cambio de temperatura determinado viene dado por:

$$[2.84] \quad t_v = \frac{(T_{im}-T_a) \cdot (m \cdot C_p) \cdot \ln \frac{(T_{im}-T_a)}{(T_{fm}-T_a)}}{q \cdot 3.6 \cdot A} \cdot h$$

Donde:

- t_v Tiempo de enfriamiento (h).
- T_{im} Temperatura inicial media del fluido ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{fm} Temperatura final media del fluido ($^{\circ}\text{C}$).
- T_a Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).
- l Longitud de la tubería (m).
- U_i Transmisión térmica lineal (W/mK).
- q Densidad de flujo lineal (W/m²).
- A Superficie del acumulador o depósito (m²).
- m Masa del contenido (kg).
- C_p Capacidad calorífica del fluido en (kJ/kgK).

Para un depósito esférico, $q \cdot A$ es reemplazado por la tasa de flujo de calor Φ_{sph} (W):

$$[2.85] \quad t_v = \frac{(T_{im}-T_a) \cdot (m \cdot C_p) \cdot \ln \frac{(T_{im}-T_a)}{(T_{fm}-T_a)}}{\Phi_{sph} \cdot 3.6} \cdot h$$

El cálculo exacto de la caída de temperatura en función del tiempo se fórmula de acuerdo a la siguiente ecuación, similar al cambio de temperatura longitudinal variando l por t y α por α' :

$$[2.86] \quad T_{fm} - T_a = (T_{im} - T_a) e^{-\alpha' t}$$

Donde α' es:

• **Para superficies planas o cilíndricas con $D > 1$**

$$[2.87] \quad \alpha'_s = \frac{U_i \cdot A \cdot 3.6}{m \cdot C_p}$$

• **Para tuberías con fluido en reposo**

$$[2.88] \quad \alpha'_l = \frac{U_i \cdot l \cdot 3.6}{m \cdot C_p}$$

La caída de temperatura con el tiempo puede calcularse aproximadamente con las ecuaciones respectivas:

• **Para superficies planas o cilíndricas con $D >$**

$$[2.89] \quad \Delta T_s = \frac{q \cdot A}{m \cdot C_p} \cdot t \cdot 3.6$$

• **Para tuberías con fluido en reposo**

$$[2.90] \quad \Delta T_l = \frac{q \cdot l}{m \cdot C_p} \cdot t \cdot 3.6$$

4.3. Cálculo del tiempo de enfriamiento y congelación de líquidos en reposo

Es imposible prevenir la congelación de un líquido en una tubería, aunque esté aislada, durante una unidad de tiempo arbitrariamente largo.

Tan pronto como el líquido (normalmente agua) en la tubería es estacionario, el proceso de enfriamiento comienza.

La densidad de flujo de calor q_i de un líquido estacionario es determinada por la energía almacenada en el líquido $c_{pw} m_{pw}$, y en el material de la tubería $c_{pp} m_p$, así como por la entalpía requerida para transformar agua en hielo.

Si $c_{pp} m_p \ll c_{pw} m_{pw}$ entonces $c_{pp} m_p$ puede ser ignorado.

• **Tuberías aisladas**

El tiempo hasta el comienzo de la congelación se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$[2.91] \quad t_v = \frac{(T_{im}-T_a) \cdot (m_p \cdot C_{pp} + m_w \cdot C_{pw}) \cdot \ln \frac{(T_{im}-T_a)}{(T_{fm}-T_a)}}{q_{wp} \cdot 3.6 \cdot A}$$

Donde:

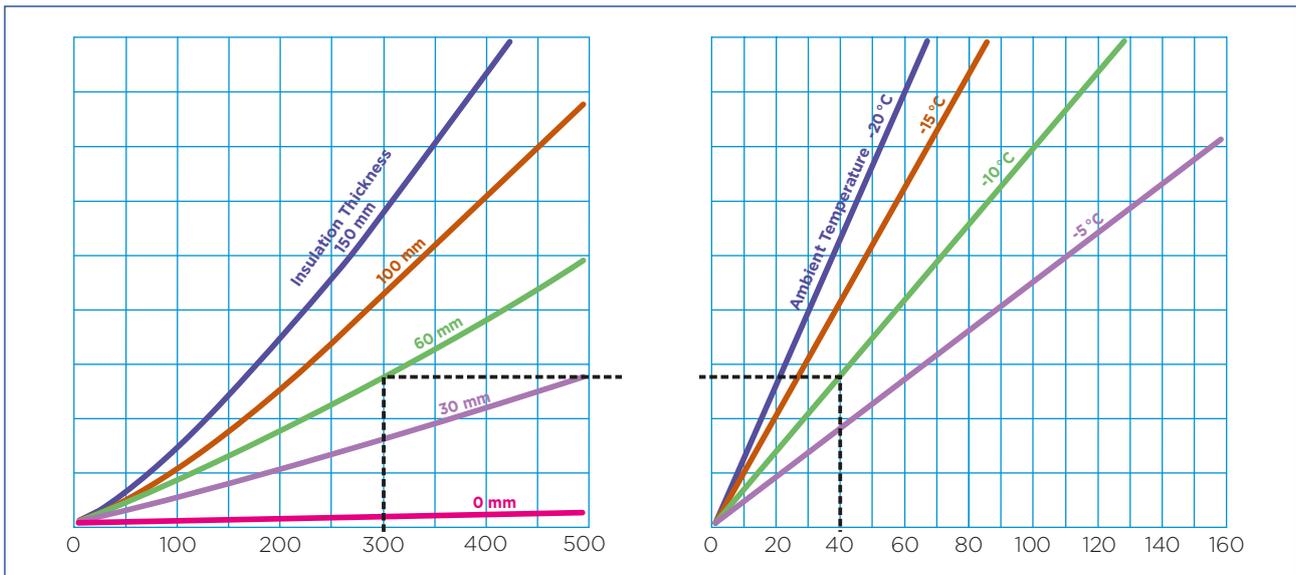
- t_v Tiempo de enfriamiento (h).
- T_{im} Temperatura inicial media del fluido ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{fm} Temperatura final media del fluido ($^{\circ}\text{C}$).
- T_a Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).
- m_p Masa de la tubería (kg).
- m_w Masa del agua (kg).
- l Longitud de la tubería (m).
- C_p Capacidad calorífica (kJ/kgK).
- q_{wp} Densidad de flujo (W/m²).
- A Superficie (m²).

Siendo q_{wp} :

$$[2.92] \quad q_{wp} = \frac{\pi(T_{im}-T_a)}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{h_e \cdot D_e}}$$

En tuberías aisladas, la resistencia térmica superficial exterior será despreciable para el cálculo de q. puede utilizarse como método indicado en el Diagrama 1.

Diagrama 1. Determinación de los tiempos de enfriamiento de 5 °C a 0 °C.
El máximo tiempo permitido de agua en tuberías de diferente diámetro y con distintos espesores de aislamiento para evitar la congelación del agua en una tubería. Temperatura inicial del agua = 5 °C, velocidad del aire = 5 m/s, λ = 0,040 W/(mK), h_e = 20 W/(mK).



• **Tuberías no aisladas**

Si se establece una comparación entre tuberías aisladas y no aisladas, la influencia del coeficiente superficial de la tubería no aislada debe ser tenida en consideración. La densidad de flujo de calor de la tubería no aislada es dada por:

$$[2.93] \quad q_1 = h_e \cdot (T_{im} - T_a) \cdot \pi \cdot D_e$$

Como una aproximación el tiempo de enfriamiento viene dado por:

$$[2.94] \quad t_v = \frac{(T_{im} - T_a) \cdot (m_p \cdot c_{pp} + m_w \cdot c_{pw})}{q_{wp} \cdot 3.6 \cdot A}$$

PARA AMBOS CASOS, el tiempo de congelación es función del flujo de calor y del diámetro de la tubería. Viene dado por:

$$[2.95] \quad T_{fr} = \frac{f}{100} \cdot \frac{\rho_{ice} \cdot \pi \cdot D_i^2 \cdot h_{fr}}{q_{fr} \cdot 3.6 \cdot 4}$$

Donde:

- T_{fr} Tiempo de congelación (h).
- D_i Diámetro interior tubería (m).
- f Porcentaje de agua transformado en hielo.
- h_{fr} Entalpía específica (calor latente de congelación del agua) = 334 kJ/kg.
- ρ_{ice} Densidad de hielo a 0 °C = 920 kg/m³.
- q_{fr} Flujo de calor.

• **Siendo para una tubería aislada: (-T_a)**

$$[2.96] \quad q_{fr} = \frac{\pi(-T_a)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_e}{D_i}}$$

Donde:

- q_{fr} Flujo de calor.
- T_a Temperatura ambiente (°C).
- D_e Diámetro exterior tubería (m).
- D_i Diámetro interior tubería (m).
- λ Conductividad térmica (W/(mK)).

EJEMPLO 13: DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE ENFRIAMIENTO Y DE CONGELACIÓN

Determinar el tiempo de enfriamiento hasta 0 °C y el tiempo de congelación parcial del agua (25% del volumen) en las siguientes condiciones:

• Temperatura del agua	$T_{im} = 20 \text{ °C}$
• Temperatura ambiente	$T_a = -10 \text{ °C}$
• Diámetro interior de la tubería	$D_{ip} = 0.1 \text{ m}$
• Diámetro interior del aislamiento:	$D_i = 0.12 \text{ m}$
• Espesor del aislamiento	$e = 150 \text{ mm}$
• Conductividad térmica del aislamiento	$\lambda = 0.04 \text{ W/(mK)}$
• Calor del agua	$m c_{pw} = 26.7 \text{ kJ/K}$
• Calor latente de congelación	$h_{fr} = 334 \text{ kJ/K}$
• Calor específico del agua	$c_{pw} = 4.2 \text{ kJ/(kgK)}$
• Densidad del hielo	$\rho = 920 \text{ kg/m}^3$

Los coeficientes superficiales interior y exterior se consideran despreciables en este ejemplo. Esto proporciona un flujo de calor:

$$q_{wp} = \frac{\pi(T_{im} - T_a)}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i}} = \frac{\pi(20 - (-10))}{\frac{1}{2 \cdot 0,04} \cdot \ln \frac{0,42}{0,12}} = 6.018 \text{ W/(mK)}$$

El tiempo de enfriamiento correspondiente al punto de congelación, sin tener en cuenta la capacidad de calor de la tubería sería:

$$t_v = \frac{(T_{im} - T_a) \cdot (m_p \cdot C_{pp} + m_w \cdot C_{pw}) \cdot \ln \frac{(T_{im} - T_a)}{(T_{fm} - T_a)}}{q_{wp} \cdot 3.6 \cdot A} = \frac{30 \cdot 26.7 \cdot \ln \frac{30}{10}}{6.018 \cdot 3.6 \cdot 1} = 40.6 \text{ h}$$

El flujo de calor y el tiempo de congelación del 25% del volumen de la tubería serían:

$$q_{fr} = \frac{\pi(-T_a)}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{D_e}{D_i}} = \frac{\pi \cdot 10}{\frac{1}{0,08} \cdot \ln \frac{0,42}{0,12}} = 2 \text{ W/m}$$

$$T_{fr} = \frac{f}{100} \cdot \frac{\rho_{ice} \cdot \pi \cdot D_i^2 \cdot h_{fr}}{q_{fr} \cdot 3.6 \cdot 4} = \frac{25}{100} \cdot \frac{920 \cdot \pi \cdot (0.1)^2 \cdot 334}{2 \cdot 3.6 \cdot 4} = 83.8 \text{ h}$$

4.4. Tuberías enterradas

Se consideran tuberías enterradas con o sin aislamiento térmico ya sea en canales o directamente en el suelo.

El flujo térmico por metro lineal de una tubería enterrada se calcula mediante la ecuación:

$$[2.97] \quad q_{i,e} = \frac{T_i - T_{se}}{R_i + R_e}$$

Donde:

T_i Temperatura media (°C).

T_{se} Temperatura superficial del terreno (°C).

R_i Resistencia térmica para una tubería enterrada y aislada (m k/W).

R_e Resistencia térmica para una tubería en suelo homogéneo (m k/W), siendo su expresión:

$$[2.98] \quad R_e = \frac{1}{2\pi\lambda_e} \cdot \operatorname{arcosh} \frac{2 \cdot h_e}{D_i}$$

Donde:

λ_e Conductividad térmica del suelo (W/(mK)).

h_e Distancia entre el centro de la tubería y la superficie en (m).

La ecuación [4.96] se puede simplificar para $h_e/D_i > 2$

$$[2.99] \quad R_e = \frac{1}{2\pi\lambda_e} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_e}{D_i}$$

Para tuberías enterradas con capas de aislamiento de acuerdo a la figura 10, la resistencia térmica se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$[2.100] \quad R_1 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right)$$

La sección transversal de la capa exterior con una longitud equivalente (a) se toma en consideración con un diámetro equivalente, $D_n = 1,073 \cdot a$ (m).

El diámetro D_i es idéntico a D_0 (where $j = 1$). La resistencia térmica del terreno R_E resulta en este caso,

$$[2.101] \quad R_E = \frac{1}{2\pi\lambda_E} \cdot \operatorname{arcosh} \frac{2 \cdot h_E}{D_n}$$

Donde:

R_E Resistencia térmica del terreno (mk/W).

λ_E Conductividad térmica del suelo (W/(mK)).

h_E Distancia entre el centro de la tubería y la superficie en (m).

Existen métodos de cálculo para la determinación de la cantidad de flujo de calor y la temperatura del terreno para otras tuberías adyacentes.

En el caso de tuberías revestidas utilizadas normalmente, adyacentes entre sí, si $\lambda_i \ll \lambda_e$, normalmente es suficiente el cálculo como aproximación inicial, ya que los efectos mutuos pueden despreciarse.

5. Puentes térmicos

Los soportes, bridas, juntas y demás elementos que forman parte de la instalación del aislamiento pueden constituir puentes térmicos que suponen pérdidas complementarias y que se tienen en cuenta de diferente manera. Para ello, en primer lugar, hay que diferenciar en las formas de comunicar la conductividad:

- λ_{lab} : **conductividad térmica** medida en el laboratorio.
- λ_d : **conductividad térmica declarada** (declarada y garantizada por el fabricante. Es la que aparece en la DoP (Declaración de Prestaciones del Fabricante).
- λ o λ_{des} : **conductividad térmica de diseño** (es la conductividad que se tiene en cuenta para los cálculos y en la que están incluidos los efectos del montaje).

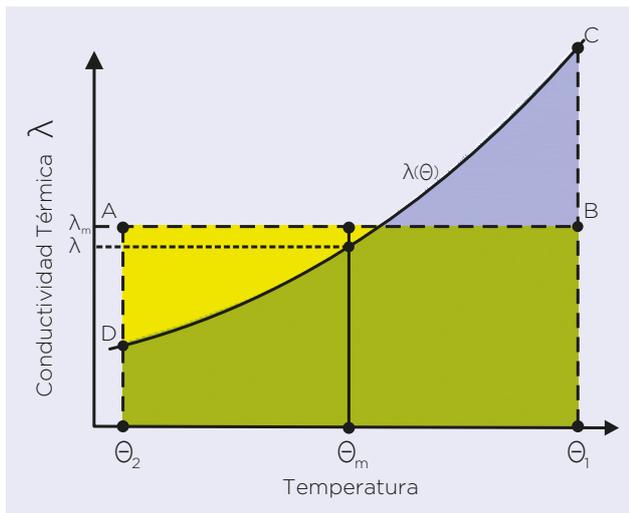
5.1. Conductividad térmica media

La conductividad térmica media λ_m se mide usando la siguiente expresión::

$$[2.102] \quad \lambda_m = \frac{1}{T_1 - T_2} \cdot \int_{T_2}^{T_1} \lambda(T) dT$$

Donde:

λ conductividad térmica (W/(mK)).
 T temperatura (°C).



De la expresión anterior se deduce:

$$[2.103] \quad \int_{T_2}^{T_1} \lambda(T) dT = \lambda_m \cdot (T_1 - T_2)$$

El valor medio de la integral λ_m también se denomina conductividad térmica media o efectiva entre T_1 y T_2 . Se asigna la media aritmética de la temperatura $T_m = 0,5 (T_1 + T_2)$.

5.2. Conductividad térmica de diseño

Cualquier cálculo debería llevarse a cabo con la **conductividad térmica de diseño λ_{des}** , (a partir de ahora considerada como λ), la cual considera las influencias del montaje:

$$[2.104] \quad \lambda = \lambda_d \cdot F + \Delta\lambda$$

Donde:

λ Conductividad térmica de diseño.
 λ_d Conductividad térmica declarada por el fabricante.
 F Factor de corrección.

5.2.1. Factor de corrección F

El factor de corrección F tiene en cuenta todas las influencias que pueden aparecer en el montaje del aislamiento:

$$[2.105] \quad F = F_{\Delta T} \cdot F_m \cdot F_a \cdot F_C \cdot F_c \cdot F_d \cdot F_j$$

Donde:

- $F_{\Delta T}$ Corrección de λ frente a la corrección de λ_m para la temperatura de operación, junto con las temperaturas de superficie caliente y fría.
- F_m Corrección del contenido de humedad esperado cuando el material está en equilibrio con una atmósfera definida.
- F_a Corrección del efecto de envejecimiento según la aplicación, si no se ha incluido en el valor declarado.
- F_C Corrección para la compresión aplicada en la aplicación.
- F_c Corrección para el efecto de convección en el material.
- F_d Corrección para el efecto del espesor.
- F_j Corrección para el efecto de las juntas abiertas.

En la siguiente tabla se muestran los valores aproximados del factor de conversión global F:

Tabla de valores aproximados del factor de conversión global F

	Tubería horizontal/vertical		Muro horizontal/vertical, relleno de cavidad sin cámara de aire, o con barrera de convección vertical		Muro vertical; cámara de aire en un lado, sin barrera de convección		Muro vertical sin barrera de convección; cámara de aire inevitable en el lado cálido					
Aplicación												
Forma de suministro del aislamiento												
Lana Mineral	Aislamiento											
	Ratio $d/D_N = 1$				Resistividad al flujo de aire 30 kPa·s/m ²							
Manta armada	Capas	Temperatura media		Capas	Temperatura media		Capas	Temperatura media				
		50°C	300°C		50°C	300°C		50°C	300°C			
	one ^a	1.10	1.05	one ^a	1.10	1.20	one ^a	1.20	1.05	one ^a	1.80	1.40
	two ^b	-	1.05	two ^b	-	1.15	two ^b	-	1.25	two ^b	-	1.60
	several ^c	-	1.00	several ^c	-	1.10	several ^c	-	1.30	several ^c	-	1.60
	Ratio $d/D_N = 0,5$				Resistividad al flujo de aire 50 kPa·s/m ²							
	Capas	Temperatura media			Layer	Temperatura media		Capas	Temperatura media			
		50°C	300°C			50°C	300°C		50°C	300°C		
	one ^a	1.10	1.10		one ^a	1.15	1.20	one ^a	1.40	1.30		
	two ^b	-	1.10		two ^b	-	1.20	two ^b	-	1.40		
several ^c	-	1.05		several ^c	-	1.20	several ^c	-	1.35			
Panel (solo para aplicaciones en plano)					Resistividad al flujo de aire 70 kPa·s/m ²							
	Capas	Temperatura media		Capas	Temperatura media		Capas	Temperatura media				
		50°C	300°C		50°C	300°C		50°C	300°C			
	one ^a	1.15	1.20	one ^a	1.60	1.30	one ^a	1.60	1.30			
two ^b	-	1.20	two ^b	-	1.30	two ^b	-	1.30				
several ^c	-	1.15	several ^c	-	1.25	several ^c	-	1.25				

^a Equivalente de un espesor de Aislamiento de 100 mm.
^b Equivalente de un espesor de Aislamiento de 200 mm.
^c Equivalente de un espesor de Aislamiento de 300 mm.
^d Con aplicación de aislamiento estanco al aire.

5.2.2. Incrementos de λ (Δ_λ)

Para los componentes de la capa de aislamiento que son puentes térmicos con separación regular relacionados con el aislamiento, como pueden ser los separadores, su influencia se tiene en cuenta sumando Δ_λ a la conductividad térmica declarada ya corregida (aplicando el factor F).

Δ_λ depende de diferentes variables y son diferentes según cada aplicación, pero de forma aproximada se podrían tomar como referencia los siguientes valores para espesores de capa comunes (entre 100 y 300mm):

- | | |
|---|---|
| • Separadores de acero | $\Delta_\lambda = 0.010 \text{ W/(mK)}$ |
| • Separadores de acero austenítico | $\Delta_\lambda = 0.004 \text{ W/(mK)}$ |
| • Separadores cerámicos | $\Delta_\lambda = 0.003 \text{ W/(mK)}$ |
| • Separadores de acero con forma de pletina | |
| • 30 mm x 3 mm | $\Delta_{\lambda_{sq}} = 0.0035 \text{ W/(mK)}$ |
| • 40 mm x 4 mm | $\Delta_{\lambda_{sq}} = 0.0060 \text{ W/(mK)}$ |
| • 50 mm x 5 mm | $\Delta_{\lambda_{sq}} = 0.0085 \text{ W/(mK)}$ |

El Δ_λ a considerar para los separadores para revestimientos metálicos de paredes dependen del número de separadores por metro cuadrado (m^2) según la fórmula: $\Delta_\lambda = N \Delta_{\lambda_{sq}}$.

Por otro lado, los componentes de la capa de aislamiento tales como soportes, bastidores, apoyos, etc, que tienen una separación irregular, se consideran como pérdidas adicionales de calor.

6. Reglas generales relacionadas con la instalación

6.1. Longitudes equivalentes

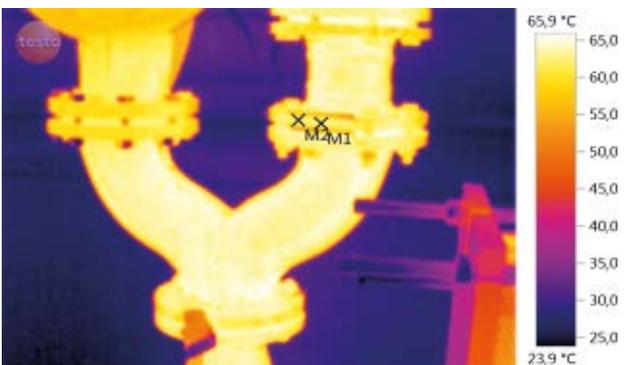
Para el cálculo de pérdidas energéticas, en válvulas y bridas, se puede usar el término longitud equivalente, tanto para bridas como válvulas.

Como regla general se considera una longitud equivalente para las bridas de 0,5 m la longitud de una tubería del mismo diámetro y de 1,0 metros para las válvulas.

Si se quisiera detallar y profundizar más en este tema, sería necesario consultar la tabla A.1 "Longitud equivalente para "puentes térmicos" relacionados con la instalación" de la normativa ISO 12241 (2008), así como la normativa VDI 4610.

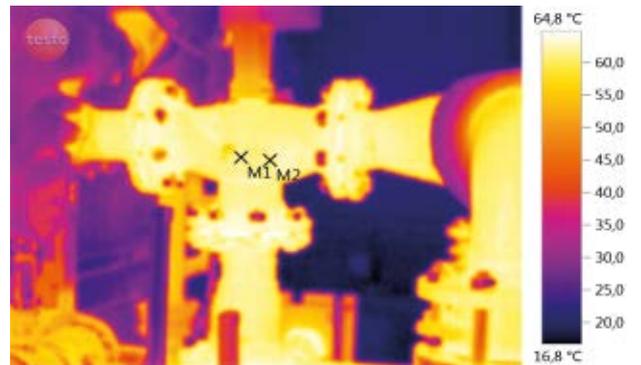
Los siguientes ejemplos para una brida DN 125 y válvula DN 150, nos dan idea de longitud equivalente de estos elementos.

BRIDA DN 100



Para una brida DN 100 sin aislar y con una temperatura de fluido de 70 °C, el flujo de calor en la brida medido con un medidor de flujo de calor (heat flux meter) y conociendo su superficie, nos da unas pérdidas de 110 w/elemento. Esto corresponde aproximadamente con 0,48 m de tubería de DN 100 sin aislar. Entendemos que se puede aproximar las pérdidas energéticas de una brida a las pérdidas de una tubería del mismo diámetro con una longitud equivalente de 1,0 m.

VALVULA DN 80



Para una válvula DN 80 sin aislar y con una temperatura de fluido de 70 °C, el flujo de calor en la válvula medido con un medidor de flujo de calor (heat flux meter) y conociendo su superficie, nos da unas pérdidas de 172 w/válvula. Esto corresponde aproximadamente con 0,97 m de tubería de DN 80 sin aislar.

Entendemos que se puede aproximar las pérdidas energéticas de una válvula a las pérdidas de una tubería del mismo diámetro con una longitud equivalente de 1,0 m.

6.2. Pérdidas energéticas en soportes y cuelgues

Para el cálculo de pérdidas energéticas, como regla general y debido a cuelgues y soportes, se puede incrementar las pérdidas totales en un porcentaje en función de si están en interior o exterior.

Para interior: incrementar las pérdidas de la tubería en un 15%.

Para exterior: incrementar las pérdidas de la tubería en un 25%.

Si se quisiera detallar y profundizar más en este tema, sería necesario consultar la normativa ISO 23993.

3. Eficiencia Energética





1.	Eficiencia energética en la industria. Situación actual.....	90
1.1.	Distribución del consumo de energía en Europa por sector.....	90
2.	Eficiencia energética en la industria. Normativa aplicable .	91
3.	¿Por qué ahorrar a través del aislamiento?	91
4.	Potencial de ahorro económico a través del aislamiento	92
5.	Pasos a seguir para aprovechar el potencial del ahorro energético.....	93
5.1.	Paso 1. Aislar las partes no aisladas o dañadas (es donde está el mayor potencial, con payback menores a 1 año).	93
5.2.	Paso 2. Evaluar el aislamiento Coste-Efectivo y considerar el coste Energéticamente Eficiente.....	93
5.3.	Paso 3. Involucrar a expertos en aislamiento en las etapas iniciales de los proyectos y las nuevas construcciones.....	94
6.	Casos prácticos reales en la Industria	94
6.1.	TIPCHECK 1. Fabricación de Placa de Yeso Laminado.....	95
6.2.	TIPCHECK 2. Fabricación de Lana Mineral ...	96
6.3.	TIPCHECK 3. Industrial auxiliar cerámica	97
6.4.	TIPCHECK 4. Automoción.....	98

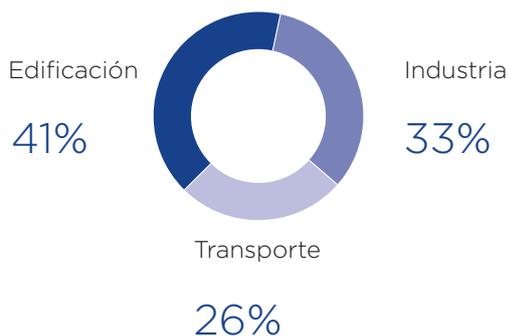
1. Eficiencia energética en la industria. Situación actual



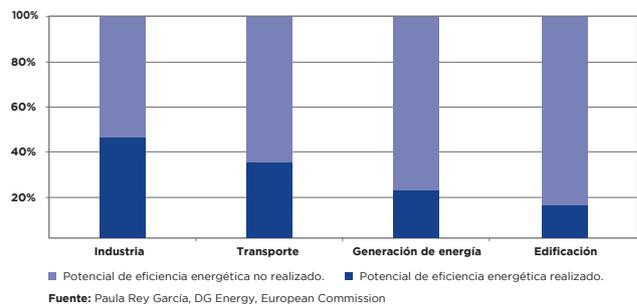
La energía más limpia y económica es la que no se consume.

La eficiencia energética es un aspecto esencial de la estrategia europea para un crecimiento sostenible en el horizonte 2020, y una de las formas más rentables para reforzar la seguridad del abastecimiento energético y para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras sustancias contaminantes.

1.1. Distribución del consumo de energía en Europa por sector



En Europa, el sector de la edificación es el consumidor de energía número uno, seguido por la industria y el transporte.



Si hacemos una comparativa, en términos energéticos, vamos a la cola con respecto al sector residencial. Mientras que en una vivienda de nueva construcción el código técnico de la edificación nos obliga a cumplir con unas pérdidas máximas de 10 W/m², en Industria no existe ninguna normativa obligatoria que nos limite las pérdidas energéticas.

	Planta de energía	Actual Código de Edificación	Casa Pasiva
Temperatura (°C)	250 - 640	18 - 22	18 - 22
Pérdidas Energéticas (AGI Q101) (W/m ²)	150*	< 10	< 3
Espesor de Aislamiento (mm)	100	100	350-500

(*) Pérdidas habituales en una planta industrial.

2. Eficiencia energética en la industria. Normativa aplicable

Existen normativas relacionadas con la eficiencia energética, con la finalidad de despertar el interés por los procesos eficientes y ayudar a las empresas a que adquieran las habilidades necesarias para poder identificar e implementar medidas de ahorro energético. Entre ellas cabe destacar:

Norma EN ISO 50001 referente a Sistemas de Gestión de la Energía

Norma Internacional cuyo objetivo es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético. Se basa en el modelo de Sistema de Gestión de Mejora Continua:



RD 56/2016 referente a Auditorías Energéticas (Transposición de la Directiva Europea 2012/27/UE)

RD 56/2016 (12 de febrero de 2016) referente a auditorías energéticas en España. Este Real Decreto transpone parcialmente la Directiva Europea relativa a la eficiencia energética 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (25 de octubre de 2012), en lo referente a la auditoría energética, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

¿Qué obligaciones establece?

Passar una auditoría energética cada 4 años o en su lugar implantar sistemas de Gestión Energética.

¿A qué empresas afecta?

A empresas con más de 250 personas o cuyo volumen de negocio exceda de 50 millones de euros.

Se establecen sanciones de hasta 80.000 € por incumplimiento.

- **PLANIFICAR** Establecer un Plan Energético en la organización de acuerdo a una planificación que establezca acciones concretas y objetivos para mejorar la gestión de la energía y la Política Energética de la organización.
- **HACER.** Implementar las acciones previstas en la planificación establecida por la dirección.
- **VERIFICAR** Monitorizar los resultados estableciendo los indicadores adecuados que determinen el grado de cumplimiento de los objetivos y de la planificación establecida, de forma que podamos valorar y divulgar correctamente los resultados.
- **ACTUAR** Revisión de los resultados para tomar las acciones de corrección y mejora que se estimen oportunas, de forma que podamos valorar y divulgar correctamente los resultados.

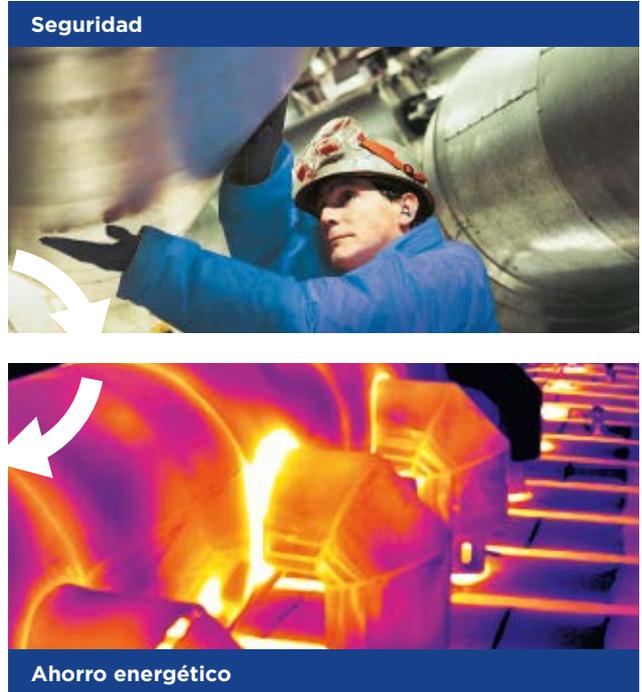
3. ¿Por qué ahorrar a través del aislamiento?

A menudo, los requisitos relacionados con la rentabilidad económica o la máxima eficiencia energética del sistema de aislamiento no están considerados. En el pasado, con los precios del petróleo más bajos, la eficiencia energética de la instalación no representaba una diferencia tan grande. Hoy día, el precio de la energía

es mucho más alto e incluso se espera que continúe incrementándose. Por esta razón, la brecha entre el aislamiento actual y el aislamiento económicamente rentable se está incrementando. Los costes adicionales para emisiones de CO₂ aceleran este potencial de ahorro.

A continuación, las razones por las que es imprescindible el Aislamiento en la Industria

- **Ahorro Energético:** El objetivo es reducir la cantidad de energía necesaria para mantener el equilibrio del proceso y evitar el flujo de calor a través del material. Esto se consigue, gracias a la instalación del aislamiento, reduciendo las pérdidas de calor.
- **Tª superficial - Protección personal:** Si no existe aislamiento térmico suficiente, las temperaturas superficiales externas pueden ser elevadas y provocar lesiones y accidentes en las personas.
- **Condiciones de Proceso:** En todo proceso deben evitarse transferencias térmicas que disfuncionen el proceso por diferencias de temperaturas no admisibles. Esta estabilidad térmica se consigue con el aislamiento.
- **Impacto Medioambiental:** El aislamiento disminuye la cantidad de energía necesaria y, por tanto, se reducen las emisiones de CO₂, dado que la mayor parte de la energía que se utiliza en los procesos térmicos procede de la transformación de un combustible.



4. Potencial de ahorro económico a través del aislamiento

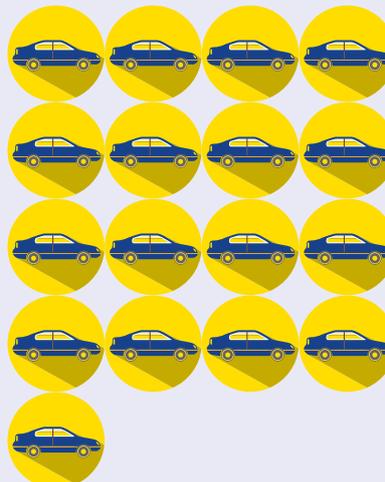
Según el estudio **Ecofys** de EIF (Fundación Europea del Aislamiento Industrial) realizado en mayo de 2014, comprobaciones en plantas industriales realizadas por expertos, muestran que al menos un 10% de las instalaciones o no están aisladas, o lo están, pero tienen el aislamiento en malas condiciones. Además, el

aislamiento aplicado habitualmente se basa en una decisión de inversión mínima, teniendo en cuenta sólo la temperatura superficial para evitar daños personales, las necesidades mínimas del proceso industrial o los promedios genéricos de pérdidas de calor.

En España, el potencial anual de ahorro equivale en energía a 49 PJ, 3,4 millones Tn de CO₂, lo que supone:



x100,000
El consumo energético de 1.200.000 viviendas.



x100,000
Las emisiones de CO₂ de 1.700.000 coches (considerando 12.500 km/año).

Gran parte de este potencial supondrían inversiones con retornos inferiores a 1 año. Aislando las partes no aisladas y reparando el aislamiento dañado la inversión ascendería a 75 millones de euros. Esta inversión representaría el 70% del total del potencial lo que supondría un ahorro de 400 millones de euros cada año.

Fuente: Estudio ECOFYS de 2014.

5. Pasos a seguir para aprovechar el potencial del ahorro energético

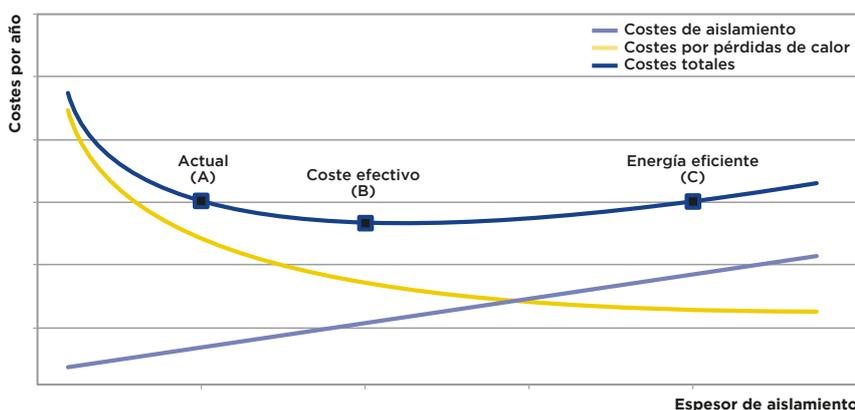
5.1. Paso 1

Aislar las partes no aisladas o dañadas (es donde está el mayor potencial, con payback menores a 1 año).



5.2. Paso 2

Evaluar el aislamiento Coste-Efectivo y considerar el coste Energéticamente Eficiente.



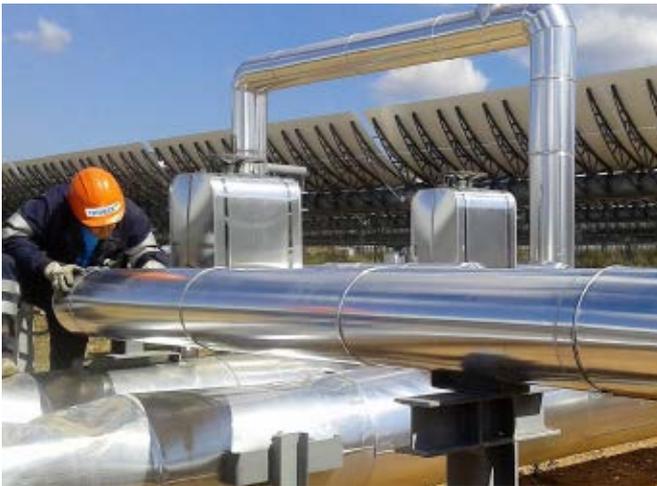
ISOVER ofrece al mercado TECH CALC, un software de cálculo térmico que recoge todos los posibles cálculos que aparecen en la norma UNE-EN-ISO 12241, algunos de ellos tan importantes como el cálculo del espesor óptimo.

Factores que influyen en la Eficiencia Energética de mayor a menor influencia

1. λ (del material aislante)
2. Espesor
3. Puentes Térmicos
4. Emisividad del cladding

5.3. Paso 3

Involucrar a expertos en aislamiento en las etapas iniciales de los proyectos y las nuevas construcciones.



A menudo la razón por la que el aislamiento eficiente no puede llevarse a cabo es por el poco espacio disponible.

Los expertos de aislamiento ayudan a evitar errores de planificación.

Ingenieros del TIPCHECK, (Technical Insulation Performance Check), certificados por EiiF (Fundación Europea del Aislamiento Industrial) realizan evaluaciones energéticas independientes y calculan los potenciales de ahorro económico y energético. A través del aislamiento, TIPCHECK evalúa los sistemas de aislamiento de las instalaciones existentes, proyectos o mantenimientos y demuestra cómo un aislamiento térmico más eficiente podría ahorrar energía, costes y contribuir a una producción más limpia reduciendo las emisiones de CO₂.

La mejor forma de detectar en una planta industrial el potencial de ahorro energético a través del aislamiento es mediante las **Auditorías Energéticas**. En muchas ocasiones, cuando hablamos de Auditorías Energéticas, nos centramos en los cambios de variadores por

arrancadores, instalación de iluminaciones inteligentes y eficientes, pero no debemos perder de vista que si los componentes del proceso no están aislados correctamente estamos perdiendo energía constantemente, con lo que tenemos una posibilidad de ahorro.

6. Casos prácticos reales en la Industria

Saint-Gobain ISOVER cuenta en España con 2 Ingenieros TIPCHECK que ponen sus servicios a disposición de los clientes para posibles auditorías TipCheck o asesoramiento para la detección de mejoras de eficiencia energética a través del aislamiento.

Prueba de que ISOVER está completamente comprometido con esta iniciativa es que ha desarrollado un programa interno llamado TIP - 4 - BEST que tiene como objetivo reducir 1/4 las pérdidas relacionadas con el consumo de energía. Este programa se ha integrado en el pilar de Energía del programa WCM (World Class

Manufacturing) de forma que en todas las plantas de Saint-Gobain se hará una auditoría TipCheck que tendrá como resultado final la implementación de las mejoras en el plan de mantenimiento y la posterior comprobación de resultados.

En los siguientes ejemplos aparecen auditorías TipCheck realizadas tanto dentro del Grupo Saint-Gobain como para clientes externos donde se han comprobado los resultados indicados después de aplicar las medidas de mejora en el aislamiento.

6.1. TIPCHECK 1



Planificado para ejecutar en 2018

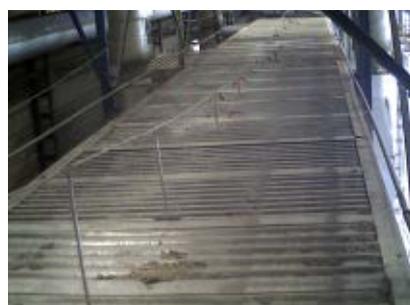
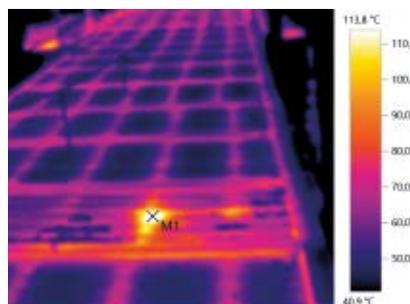
Planta: **Saint-Gobain Placo. Fábrica de Quinto de Ebro.**

Actividad de la Planta: **Fabricación de Placa de Yeso Laminado.**

Parte del proceso auditado: **Secadero.**



El Secadero, es parte de la línea de producción de la planta de Saint-Gobain Placo de Quinto en Zaragoza. La principal función del secadero consiste en retirar la humedad de las placas de yeso laminado mediante la incorporación de aire caliente y la extracción de aire húmedo, permitiendo que el material se vaya secando a lo largo de la línea por el interior de un túnel de longitud de 104 metros aproximadamente.



**Potencial ahorro
mejorando el aislamiento existente**

Inversión	28.952 €
Retorno (Payback)	1,1 año
Ahorros económicos	26.420 € por año
Ahorros energéticos	842 MWh por año
Reducción CO ₂	54 Tn por año

6.2. TIPCHECK 2



Ejecutado en 2017.
 Planta: Saint-Gobain Isover. Fábrica Azuqueca de Henares.
 Actividad de la Planta: Fabricación de Lana Mineral.
 Parte del proceso auditado: Estufa de la Línea de Roca.

En la línea de Roca, la estufa se compone de 4 zonas de caldeo con circulación de aire independiente, una zona de entrada y otra de salida. Este acondicionamiento permite transportar el aire caliente al interior del recinto para polimerizar los productos de Lana de Roca.



**Ahorro conseguido
aislando las partes no aisladas**

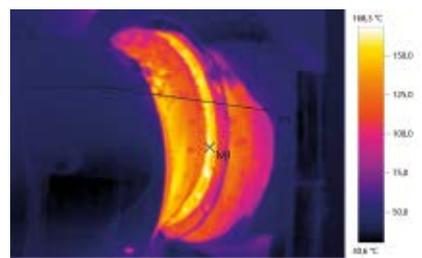
Inversión
1.550 €

Retorno (Payback)
3 meses

Ahorros económicos
7.065,47 € por año

Ahorros energéticos
170,64 MWh por año

Reducción CO₂
34,47 Tn por year



6.3. TIPCHECK 3



Ejecutado en 2017

Planta: **Comain, Carros y Maquinaria cerámica (www.comain.es).**

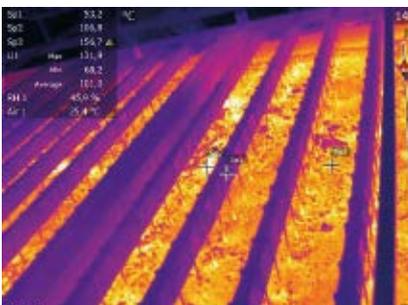
Almassora plant.

Actividad de la Planta: **Industrial Auxiliar Cerámica.**

Parte del proceso auditado: **Horno cerámico.**



El horno cerámico es una unidad de producción flexible e innovadora en construcción modular prefabricada con revestimiento de ladrillos ligeros refractarios, y aislamiento térmico. Equipado con concepciones modernas de mando del horno y sistemas de seguimiento de vagonetas, el horno se usa para la primera cocción o cochura, la cochura de calor cerámica, la cochura bizcocho y la cochura de vidrio, dando un perfil de temperatura idóneo para el material cerámico.



Ahorro conseguido mejorando el aislamiento existente del techo del horno

Inversión

9,650 €

Retorno (Payback)

2,1 meses

Ahorros económicos

59,963 € por año

Ahorros energéticos

1,602 MWh/año

Reducción CO₂

43,171 Tn por año

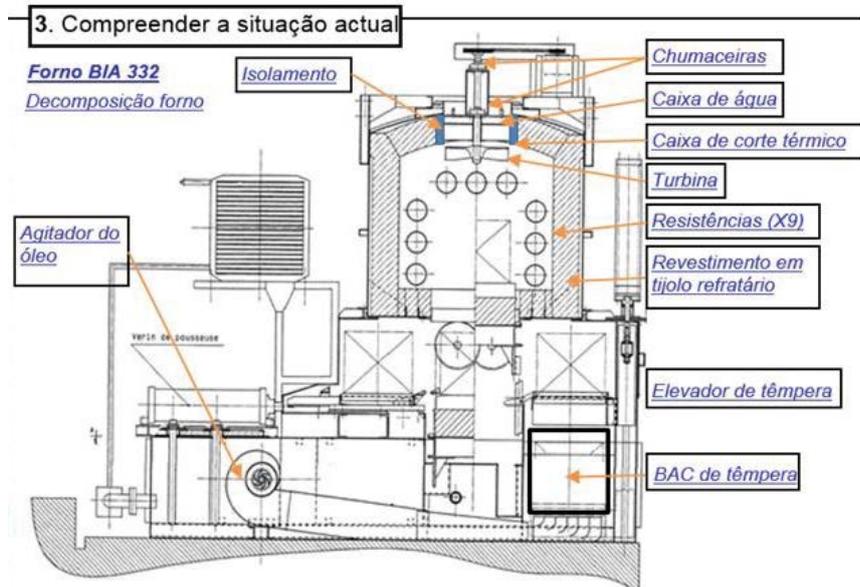
6.4. TIPCHECK 4



RENAULT

La función de este horno es el tratamiento térmico de piezas metálicas para la industria del automóvil. Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o las aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad.

Ejecución sin planificar. Planta: Renault. Planta de Aveiro.
Actividad de la Planta: Automoción. Parte del proceso auditado: Horno de templado.



Ahorro conseguido
aislando las partes no aisladas

Inversión
6,000 €

Retorno Payback
4.90 meses

Ahorros económicos
14,700.85 €/Año

Ahorros energéticos
171.38 MWh €/Año

Reducción CO₂
57.70 Tn/año



TechCalc 2.0

Software de Cálculo Térmico

- Cálculos según ISO 12241
- Interfaz intuitiva
- Disponible en diferentes idiomas
- Adaptado a dispositivos móviles
- También en versión online



4. Técnicas de Aislamiento Térmico



1. Gama ISOVER TECH – Gama completa de soluciones para industria..... 102	
1.1. Soluciones de aislamiento para tuberías.....102	
1.1.1. Aislamiento con ISOVER TECH Pipe Section.....102	
1.1.2. Soluciones de aislamiento ISOVER TECH para tuberías de medio y gran diámetro.....103	
1.2. Soluciones de aislamiento para tanques de almacenamiento.....104	
1.2.1. Aislamiento en paredes de tanques.....104	
1.2.2. Aislamiento en techos de tanques con altas temperaturas.....105	
1.3. Soluciones de aislamiento para calderas, conductos y chimeneas.....106	
1.4. Soluciones de aislamientos para aplicaciones industriales especiales.....107	
1.4.1. ISOVER CRYOLENE – Aislamiento para tanques criogénicos.....107	
1.4.2. ISOVER TECH “QN” – Soluciones de aislamiento en calidad nuclear.....108	
1.4.3. ISOVER “EX” – Soluciones de aislamiento para áreas con riesgos de explosión.....109	
2. Aplicaciones..... 111	
2.1. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de sales – Soluciones con manta armada.....112	
2.2. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de sales– Soluciones con paneles.....114	
2.3. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanques de aguas residuales (Digestores) – Soluciones con mantas/ rollos..... 116	
2.4. Almacenamiento y conservación de energía térmica Tanque de almacenamiento de combustibles.....118	
2.5. Tuberías de gran diámetro. Tubería de vapor sobrecalentado – Soluciones con Manta armada.....120	
2.6. Tuberías de diámetro medio. Tubería de calefacción de distrito – Coquillas y Mantas armadas (dos capas) ...122	
2.7. Tuberías de diámetro medio – Alta temperatura. Tubería vapor reformado – Coquillas y Mantas armadas (multicapa) ...124	
2.8. Tuberías de pequeño diámetro – Baja temperatura. Tubería de agua caliente – Coquillas..... 126	
2.9. Aislamiento de válvulas – Temperatura media Cajas y colchonetas desmontables.....128	
2.10. Aislamiento de bridas – Temperatura media – Cajas y colchonetas desmontables.....130	
2.11. Conducto de gases de combustión, Desnitrificación / Desulfuración SCR FLUE GAS – Mantas armadas.....132	
2.12. Conducto de gases de escape, Absorbedor – Mantas armadas.....134	
3. Procedimientos generales de instalación de aislamiento 136	
3.1. Introducción.....136	
3.2. Prevención, seguridad y salud laboral en la instalación de aislamiento térmico.....136	
3.3. Observaciones generales.....137	
3.4. Sistemas de montaje del aislamiento en tuberías.....138	
3.4.1. Tramos rectos. Una capa de aislamiento.....138	
3.4.2. Tramos rectos. 2 o más capas de aislamiento.....140	
3.4.3. Secciones curvas.....141	
3.4.4. Bridas y válvulas.....142	
3.4.5. Tuberías con traceado.....143	
3.4.6. Otros componentes de tubería.....145	
3.5. Sistemas de aislamiento para equipos y tanques.....147	
3.6. Plan de inspección de calidad.....156	
3.6.1. Tubería.....156	
3.6.2. Equipos.....157	
3.6.3. Supervisión de obras.....159	
4. Corrosión bajo aislamiento (CUI) 160	
4.1. Definiciones.....160	
4.1.1. Humedad.....160	
4.1.2. Humedad absoluta y relativa.....160	
4.1.3. Transmisión de vapor de agua.....160	
4.1.4. Condensación y punto de rocío.....160	
4.2. Comportamiento de los productos de aislamiento.....161	
4.2.1. Prestaciones con aislamiento húmedo.....161	
4.2.2. Entrada de agua.....161	
4.3. Corrosión bajo aislamiento (CUI).....162	
4.3.1. ¿Qué es CUI?.....162	
4.3.2. ¿Qué hacer en condiciones críticas?.....163	
4.3.3. Protección del metal.....163	
4.3.4. Instalación del sistema de aislamiento.....163	
4.3.5. Mantenimiento.....164	

1. Gama ISOVER TECH - Gama completa de soluciones para industria

Los productos ISOVER TECH no solo proporcionan altos niveles de prestación térmica por propósitos económicos y medioambientales, también están diseñados para operar en un rango de temperaturas de hasta 700 °C (MST), ofrecen excelentes propiedades

acústicas para ayudar a controlar el ruido de la planta y mejorar la seguridad del personal de la planta. Son ligeros y fáciles de manejar, y son particularmente beneficiosos en zonas de difícil acceso y donde el espacio está limitado.



1.1. Soluciones de aislamiento para tuberías

1.1.1. Aislamiento con ISOVER TECH Pipe Section

ISOVER ofrece una gama de coquillas TECH Pipe Section en Lana de Vidrio, Lana de Roca y ULTIMATE® para adaptarse a diferentes temperaturas y necesidades de aislamiento de tuberías. Las coquillas de tubería ISOVER TECH normalmente se instalan sin estructuras de soporte o distanciadores y tienen una longitud estándar de 1.200 mm para una instalación rápida y eficiente. Consulte los estándares y las especificaciones de aislamiento para obtener instrucciones detallada de instalación.

ISOVER Tech Pipe Section	Lana de Vidrio	Lana de Roca	ULTIMATE®
Características clave	ligero	robusto	Buenas prestaciones con bajo peso
Temperatura límite de empleo	Hasta 400 °C	Hasta 650 °C	Hasta 660 °C
Máxima clasificación de eficiencia energética	4. Standard plus	4. Standard plus	4. Standard plus
Productos principales	TECH Pipe Section MT 4.0	TECH Pipe Section MT 4.1	U TECH Pipe Section MT 4.0 U Protect Pipe Section Alu2



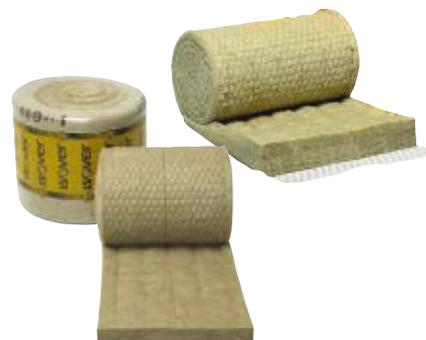
1.1.2. Soluciones de aislamiento ISOVER TECH para tuberías de medio y gran diámetro

Aislamiento flexible con estructura soporte o distanciadores.

El método estándar utilizado para el aislamiento flexible en tuberías de procesos de todos los tamaños, independientemente del diámetro de la tubería, suele ser la instalación de mantas armadas.

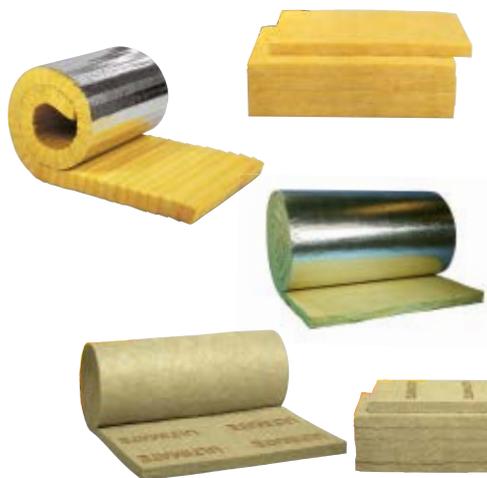
ISOVER ofrece un amplio rango de mantas armadas estandarizadas de Lana de Roca de diferentes densidades y rendimientos térmicos.

ISOVER U TECH Wired Mats en ULTIMATE® son la alternativa de mayor eficiencia energética en comparación con la manta armada estándar.



(U) TECH Wired Mats	Lana de Roca	ULTIMATE®
Características clave	Flexible	Buenas prestaciones con bajo peso
Temperatura límite de empleo	Hasta 680 °C	Hasta 700 °C
Máxima clasificación de eficiencia energética	6. Premium plus	8. Extra plus
Productos principales	TECH Wired Mat MT 3.1, MT 4.2, MT 5.1, MT 6.1	U TECH Wired Mat MT 4.0, MT 5.0, MT 6.0, MT 7.0, HT 8.0



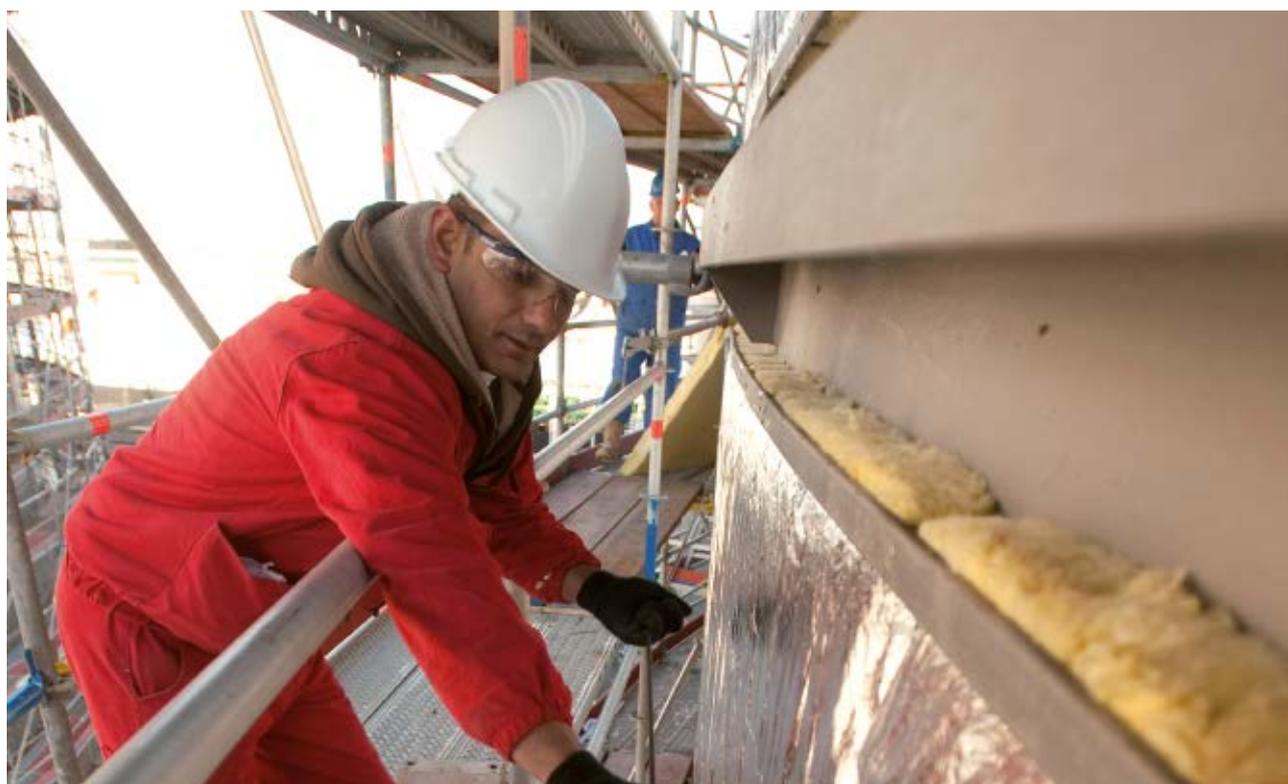


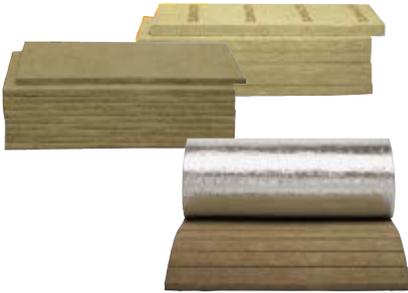
1.2. Soluciones de aislamiento para tanques de almacenamiento

1.2.1. Aislamiento en paredes de tanques

ISOVER ha creado una gama de soluciones flexibles, ligeras para aislamiento eficiente y de rápida instalación en paredes de tanques mejoradas en forma de rollos y paneles.

(U) TECH	TECH Rolls en lana de vidrio	TECH Slabs en lana de vidrio	Tech Slabs en Lana de Roca	U TECH Rolls en ULTIMATE®
Características clave	Flexible, ligero y fácil de instalar	Fácil de instalar	Alta resistencia a la compresión	Flexible, alternativa ligera y eficiente
Temperatura límite de empleo	Hasta 200 °C	Hasta 300 °C	Hasta 600° C	Hasta 460 °C
Máxima clasificación de eficiencia energética	2. Classic plus	3. Standard	3.Standard	4. Standard plus
Productos principales	TECH Roll 2.0 Alu2	TECH Slab 2.0, 3.0	Tech Slab 2.1, 3.1	U TECH Roll MT 4.0





1.2.2. Aislamiento en techos de tanques con altas temperaturas

Para aplicaciones con alta demanda en términos de resistencia a la temperatura y compresión, así como en construcciones de techos de tanques ISOVER ofrece paneles de alta densidad y un rango de eficiencia desde media a alta temperatura para TECH Slabs y para U TECH Slabs en calidad ULTIMATE®.

(U) TECH	ISOVER TECH Slabs en Lana de Roca	ISOVER U TECH Slabs en ULTIMATE®
Características clave	Alta resistencia a la compresión	Ligera, alternativa de eficiencia térmica
Temperatura límite de empleo	Hasta 700 °C	Hasta 700 °C
Máxima clasificación de eficiencia energética	6. Premium plus	8. Extra plus
Productos principales	TECH Slab MT 5.1, HT 6.1	U TECH Slab MT 6.0, MT 7.0, HT 8.0



1.3. Soluciones de aislamiento para calderas, conductos y chimeneas

Equipos de alta temperatura como calderas y tanques, tienen su propia demanda respecto al diseño de aislamiento, especialmente con las temperaturas límite de servicio, las prestaciones térmicas, pero también la resistencia a los cambios de temperatura, flexibilidad, comportamiento químico, etc.

Para atender estas demandas, ISOVER ha diseñado la manta armada TECH Wired Mat en un amplio rango en Lana de Roca y para mayor eficiencia las construcciones ligeras de la familia U TECH Wired Mat. Adicionalmente, TECH Loose Wool se utilizará en zonas donde el espacio está limitado y la instalación convencional no es posible.



(U) TECH	TECH Wired Mats en Lana de Roca	U TECH Wired Mats en ULTIMATE®	TECH Loose Wool en Lana de Roca
Características clave	Flexible y con alta durabilidad	Alta prestación térmica, ligera y ahorro de espacio	Flexible, sin o con muy poco aglutinante
Temperatura límite de empleo	Hasta 680 °C	Hasta 700 °C	Hasta 700 °C
Máxima clasificación de eficiencia energética	6. Premium plus	8. Extra plus	-
Productos principales	TECH Wired Mat MT 3.1, MT 4.1, MT 5.1, MT 6.1.	U TECH Wired Mat MT 4.0, MT 5.0, MT 6.0, MT 7.0, HT 8.0	TECH Loose Wool HT, TECH Loose Wool EX



1.4. Soluciones de aislamientos para aplicaciones industriales especiales

1.4.1. ISOVER CRYOLENE - Aislamiento para tanques criogénicos

Para tanques de almacenamiento que contienen fluidos criogénicos como gas natural licuado (GNL), oxígeno líquido o nitrógeno para procesos químicos y de combustión, los requisitos de diseño y de construcción son especialmente rigurosos. El tanque de almacenamiento se expande y se contrae dependiendo del nivel de fluido en el interior, por lo que soluciones de aislamiento deben ofrecer altos requerimientos de compresibilidad, resiliencia y flexibilidad.

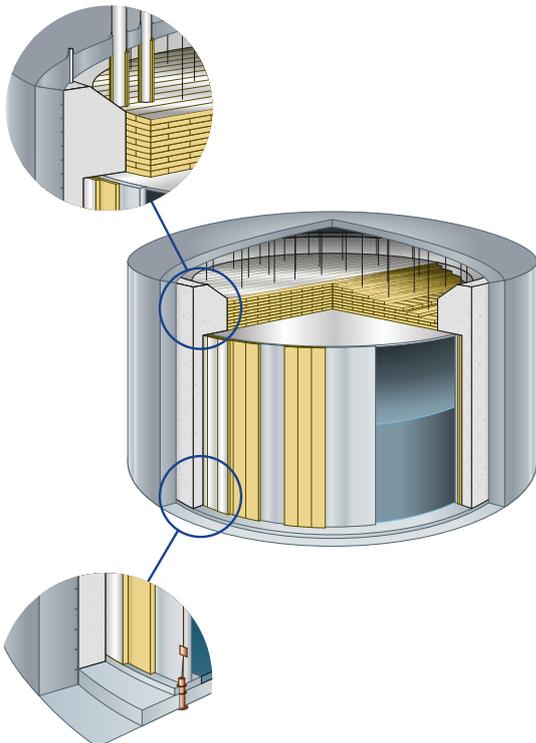
Para atender esta necesidad, ISOVER ha desarrollado la solución CRYOLENE para el aislamiento de paredes y techos de tanques criogénicos.

Los productos CRYOLENE son mantas de Lana Mineral altamente flexibles, diseñados para retener su elasticidad

de fibra en largos periodos de vida útil a temperaturas desde -170 °C a +120 °C. Varias soluciones han sido desarrolladas aislamientos para techos y paredes de los tanques. Las soluciones CRYOLENE son de rápida y fácil instalación, con reducción de puentes térmicos

Con diferentes revestimientos, como tejido de vidrio o foil de aluminio reforzado ofrecen a los productos CRYOLENE gran resistencia al desgarro y a la tensión.

Las propiedades y las prestaciones de los productos CRYOLENE han sido ampliamente probados por laboratorios externos, y están garantizados a través de décadas de éxito a nivel mundial en aplicaciones de GNL y en el almacenamiento de productos químicos.



CRYOLENE	Tipo 681	Tipo 682	Tipo 684
Cubiertas suspendidas	●	-	-
Paredes de tanque	-	●	-
Conexiones de tubería	-	-	●



1.4.2. ISOVER TECH "QN" - Soluciones de aislamiento en calidad nuclear

ISOVER TECH "QN" - Soluciones para aplicaciones nucleares

La demanda de calidad de los productos instalados es excepcionalmente alta en plantas nucleares.

ISOVER tiene una larga trayectoria y experiencia en el suministro de productos especiales, productos aislantes de alta calidad para esta área sensible para todos los escenarios clave en el sector nuclear.

Los productos ISOVER con la marca "QN" están diseñados para cumplir con estos criterios de calidad nuclear.

Gama especializada ISOVER para componentes o equipamientos en plantas nucleares

- Fibras largas y resistentes lo que lleva a prestaciones térmicas constantes a largo plazo, también bajo estrés mecánico (vibraciones), sin pérdida de espesor con el tiempo y baja demanda de mantenimiento.
- Contenido orgánico bajo o nulo y uso de malla armadas inoxidable en mantas, evitando cualquier riesgo de corrosión bajo aislamiento, humo o emisiones después del primer calentamiento.
- Bajo peso combinado con alta eficiencia energética, acústica y rendimiento de protección contra incendios en un solo producto que garantiza una mejor vida útil y rendimiento. .

Productos: TECH Loose Wool QN / TECH Telisol 5.0 QN.



1.4.3. ISOVER "EX" – Soluciones de aislamiento para áreas con riesgos de explosión

ISOVER "EX" - soluciones para cajas frías, oxígeno líquido y zonas de riesgo explosión

ISOVER ofrece una gama especial de productos con marca "EX" que pueden ser aplicado en cajas frías y en almacenamiento de oxígeno líquido debido a los bajos requisitos de contenido orgánico.

Estos productos cumplen con las demandas de estándares como AGI 118 o llamados LINDE QUALITY y están disponibles como lana a granel.

Productos: TECH Loose Wool EX .



ISOVER TECH

La gama más completa para
Aislamiento Industrial



AHORRO ENERGÉTICO

Reduce la pérdida de calor



REDUCCIÓN TEMPERATURA SUPERFICIAL

Mínimiza el riesgo de lesiones o accidentes en las personas



ESTABILIDAD TÉRMICA

Para evitar transferencias que alteren el proceso



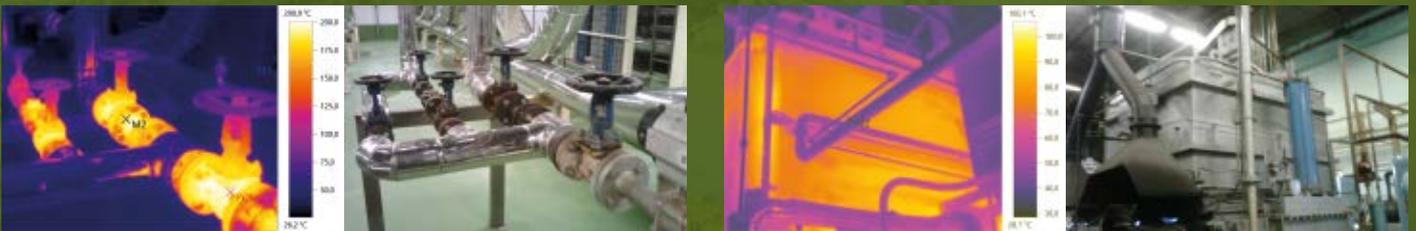
IMPACTO MEDIO-AMBIENTAL

Reduce las emisiones de CO₂



AUDITORÍAS ENERGÉTICAS TIPCHECKS

Te ayudamos a **analizar** la cantidad de **energía** y **dinero** que se está **perdiendo** con la instalación actual, y cómo mejorarlo con soluciones de aislamiento eficiente ISOVER.



CONTACTA CON NUESTROS EXPERTOS INGENIEROS TIPCHECKS
EN WWW.ISOVER.ES



Software de cálculo técnico

2. Aplicaciones

Introducción

Al diseñar un nuevo elemento industrial, se pueden encontrar muchas opciones y escenarios en términos de necesidades de aislamiento, dependiendo de las condiciones del proyecto y sus especificaciones. ISOVER ofrece todo tipo de soluciones de aplicaciones térmicas, manteniendo en mente no solo el punto de vista de ingeniería, limitaciones de espacio, pérdidas de calor, peso estructural, etc. También además la perspectiva de instalación.

A continuación, se encuentran varios cálculos de escenarios reales, en cada uno de ellos se seleccionan la propuesta que solo los materiales ISOVER pueden brindar con sus tres soluciones minerales basadas en Lana de Vidrio, Roca y la innovación ULTIMATE® con sus beneficios únicos.



2.1. Almacenamiento y conservación de energía térmica

Tanques de sales - Soluciones con manta armada



El almacenamiento de energía térmica se consigue con una amplia gama de diferentes tecnologías. Dependiendo de la tecnología específica, permite almacenar el exceso de energía térmica y usarse horas, o días más tarde. Un buen ejemplo es la demanda de balance de energía entre día y noche, como pasa en tanques de sales fundidas para el aprovechamiento de la energía térmica en sistemas de energía solar concentrada (CSP). Con el aislamiento óptimo del tanque la energía puede ser almacenada hasta por una semana.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	WM-AGI-Q-132: 80-120 kg/m³	TECH WM MT 5.1
		
Volumen tanque	15,877.6 m ³	15,877.6 m ³
Espesor L1	0.1 m	0.1 m
Espesor L2	0.1 m	0.1 m
Espesor L3	0.1 m	0.1 m
Espesor total	300 mm	300 mm
Superficie total de aislamiento	5,066.8 m ²	5,066.8 m ²
Superficie de revestimiento	1,697.7 m ²	1,697.7 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	96.69 W/m²	88.48 W/m²
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	1,395 MWh/p.a.	1,277 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		8.5 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	17.6 °C	17.0 °C
Densidad de aislamiento	100 kg/m ³	100 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	506.7 m ³	506.7 m ³
Peso total	50.7 Tn	50.7 Tn

Hipótesis de cálculo

Pérdidas energéticas para espesor de aislamiento estándar en tanque de sales fundidas (300 mm)

Diámetro = 38 m.

$T_i = 385 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

$W_s = 4 \text{ m/s}$.

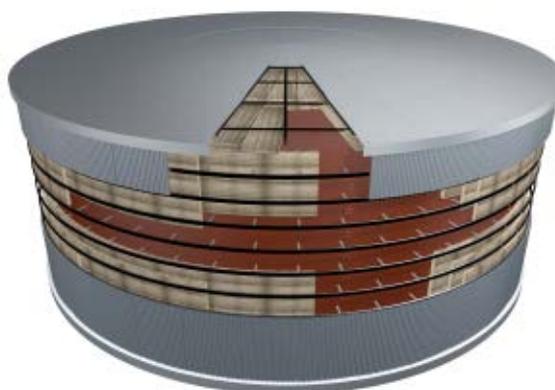
Altura = 14 m.

$F = 1$.

$\Delta_\lambda = 0.0085 \text{ W/(mK)}$ (distanciadores de acero en pletina de 50 x 5 mm).

Revestimiento: acero galvanizado polvoriento ($\epsilon = 0.44$).

Proyecto de referencia: Planta termosolar Ouarzazate - Marruecos.



 Sistema 3 Ahorro de instalación		 Sistema 4 Eficiencia energética	
U TECH WM MT 4.0 		TECH WM MT 6.1 	
U TECH WM MT 6.0 			
15,877.6 m ³	15,877.6 m ³	15,877.6 m ³	
0.1 m	0.1 m	0.1 m	
0.1 m	0.1 m	0.1 m	
0.1 m	0.1 m	0.1 m	
300 mm	300 mm	300 mm	
5,066.8 m ²	5,066.8 m ²	5,066.8 m ²	
1,697.7 m ²	1,697.7 m ²	1,697.7 m ²	
14.0 %	-2.8 %	8.4 %	
90.77 W/m²	84.97 W/m²	79.78 W/m²	
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	
1,310 MWh/p.a.	1,226 MWh/p.a.	1,151 MWh/p.a.	
6.1 %	12.1 %	17.5 %	
0.0 %	0.0 %	0.0 %	
17.2 °C	16.7 °C	16.3 °C	
44 kg/m ³	128 kg/m ³	66 kg/m ³	
506.7 m ³	506.7 m ³	506.7 m ³	
22.3 Tn	64.9 Tn	33.4 Tn	

2.2. Almacenamiento y conservación de energía térmica

Tanques de sales - Soluciones con paneles



El almacenamiento de energía térmica se consigue con una amplia gama de diferentes tecnologías. Dependiendo de la tecnología específica, permite almacenar el exceso de energía térmica y usarse horas o días más tarde. Un buen ejemplo es la demanda de balance de energía entre día y noche, como pasa en tanques de sales fundidas para el aprovechamiento de energía térmica en sistemas de energía solar concentrada (CSP). Con el aislamiento óptimo del tanque la energía puede ser almacenada hasta por una semana.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	SL-AGI-Q-132: 80-120 kg/m³	TECH SLAB MT 5.1
		
Volumen tanque	15,877.6 m ³	15,877.6 m ³
Espesor L1	0.1 m	0.1 m
Espesor L2	0.1 m	0.1 m
Espesor L3	0.1 m	0.1 m
Thickness L4	m	m
Espesor total	300 mm	300 mm
Superficie total de aislamiento	5,066.8 m ²	5,066.8 m ²
Superficie de revestimiento	1,697.7 m ²	1,697.7 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	93.50 W/m²	91.31 W/m²
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	1,349 MWh/p.a.	1,318 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		2.3 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	17.4 °C	17.2 °C
Densidad de aislamiento	100 kg/m ³	100 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	506.7 m ³	506.7 m ³
Peso total	50.7 Tn	50.7 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas energéticas para espesor de aislamiento estándar en tanque de sales fundidas (300 mm)

Diámetro = 38 m.

$T_i = 385 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

$W_s = 4 \text{ m/s}$.

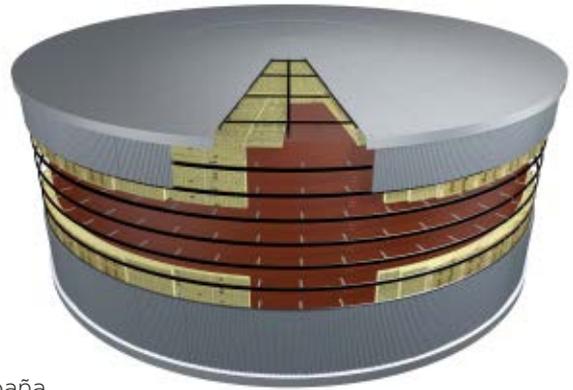
Altura = 14 m.

$F = 1$.

$\Delta_\lambda = 0.0085 \text{ W/(mK)}$ (distanciadores de pletina $50 \times 5 \text{ mm}$).

Revestimiento: acero galvanizado polvoriento ($\epsilon = 0.44$).

Proyecto de referencia: Planta termosolar - Extremadura, España.



 Sistema 3 Ahorro de instalación	 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 5 Ahorro de espacio
U TECH SLAB MT 5.0	U TECH SLAB MT 6.0	U TECH SLAB HT 8.0
		
15,877.6 m ³	15,877.6 m ³	15,877.6 m ³
0.1 m	0.1 m	0.08 m
0.1 m	0.1 m	0.08 m
0.1 m	0.1 m	0,05 m
m	m	0.05 m
300 mm	300 mm	260 mm
5,066.8 m ²	5,066.8 m ²	6,747.8 m ²
1,697.7 m ²	1,697.7 m ²	1,694.2 m ²
14.0 %	8.4 %	-18.5 %
84.25 W/m²	80.17 W/m²	91.24 W/m²
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
1,216 MWh/p.a.	1,157 MWh/p.a.	1,314 MWh/p.a.
9.9 %	14.3 %	2.4 %
0.0 %	0.0 %	13.3 %
16.7 °C	16.3 °C	17.2 °C
44 kg/m ³	66 kg/m ³	100 kg/m ³
50.7 m ³	506.7 m ³	438.3 m ³
22.3 Tn	33.4 Tn	43.8 Tn

2.3. Almacenamiento y conservación de energía térmica

Tanques de aguas residuales (Digestores) – Soluciones con mantas / rollos



Una planta de tratamiento de aguas residuales produce efluentes no contaminantes y limpios los cuales son descargados directamente a un desagüe o cualquier otra línea de agua que permita dispersarse en el suelo. Grandes cantidades de aguas residuales a una temperatura específica deben almacenarse en digestores y tratarse en este tipo de plantas.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	SL-AGI-Q-132: 80-120 Kg/m³	TECH WM 3.1 
Volumen tanque	3,006.6 m ³	3,006.6 m ³
Espesor L1	0.09 m	0.09 m
Espesor L2	0.09 m	0.09 m
Espesor total	180 mm	180 mm
Superficie total de aislamiento	1,395.7 m ²	1,395.7 m ²
Superficie de revestimiento	701.4 m ²	701.4 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	9.87 W/m²	9.52 W/m²
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	59 MWh/p.a.	57 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		3.5 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	10.8 °C	10.7 °C
Densidad de aislamiento	70 kg/m ³	70 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	125.6 m ³	125.6 m ³
Peso total	8.8 Tn	8.8 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas térmicas <math><10 \text{ W/m}^2</math> en tanques de almacenamiento (300 mm de muro de hormigón)

Diámetro = 17 m.

$T_i = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

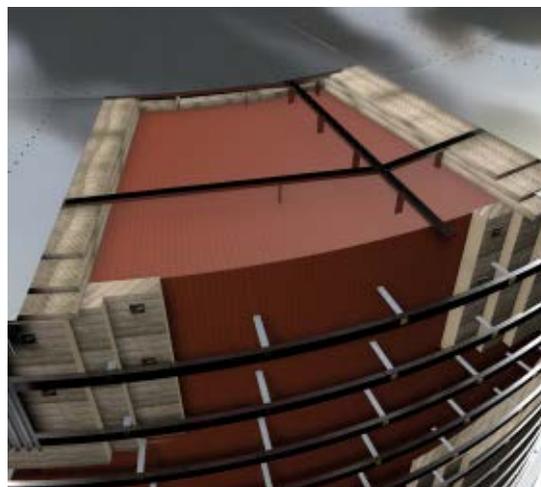
$W_s = 4 \text{ m/s}$.

Altura = 12.5 m.

$F = 1,05$.

$\Delta_\lambda = 0 \text{ W/(mK)}$.

Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.13$).



 Sistema 3 Ahorro de instalación	 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 5 Ahorro de espacio
TECH Roll 2.0 Alu2	U TECH WM MT 4.0	U TECH WM MT 5.0
		
3,006.6 m ³	3,006.6 m ³	3,006.6 m ³
0.09 m	0.09 m	0.08 m
0.09 m	0.09 m	0.08 m
180 mm	180 mm	160 mm
1,395.7 m ²	1,395.7 m ²	1,393.3 m ²
701.4 m ²	701.4 m ²	699.8 m ²
13.8 %	9.2 %	4.8 %
9.82 W/m²	8.60 W/m²	9.65 W/m²
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
59 MWh/p.a.	51 MWh/p.a.	57 MWh/p.a.
0.5 %	12.9 %	2.4 %
0.0 %	0.0 %	11.1 %
10.8 °C	10.7 °C	10.7 °C
22 kg/m ³	44 kg/m ³	55 kg/m ³
125.6 m ³	125.6 m ³	111.5 m ³
2.8 Tn	5.5 Tn	6.1 Tn

2.4. Almacenamiento y conservación de energía térmica

Tanque de almacenamiento de combustibles



Los combustibles fósiles deben estar calientes para su manipulación y almacenamiento. El combustible pesado está normalmente a una temperatura de 50 grados o más y debe ser transportado y conservado a esta temperatura. Los tanques y las tuberías deben estar aisladas para mantener estas mínimas temperaturas.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	SL-AGI-Q-132: 50-80 kg/m³	TECH Slab 3.1 
Volumen tanque	3,006.6 m ³	3,006.6 m ³
Espesor L1	0.09 m	0.09 m
Espesor L2	0.09 m	0.09 m
Espesor total	180 mm	180 mm
Sup. total de aislamiento	1,395.7 m ²	1,395.7 m ²
Superficie de revestimiento	701.4 m ²	701.4 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	10.00 W/m ²	9.73 W/m ²
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	60 MWh/p.a.	58 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		2.7 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	10.8 °C	10.8 °C
Densidad de aislamiento	70 kg/m ³	70 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	125.6 m ³	125.6 m ³
Peso total	8.8 Tn	8.8 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas térmicas <math><10 \text{ W/m}^2</math> en tanques de almacenamiento de combustible

Diámetro = 17 m.

$T_i = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

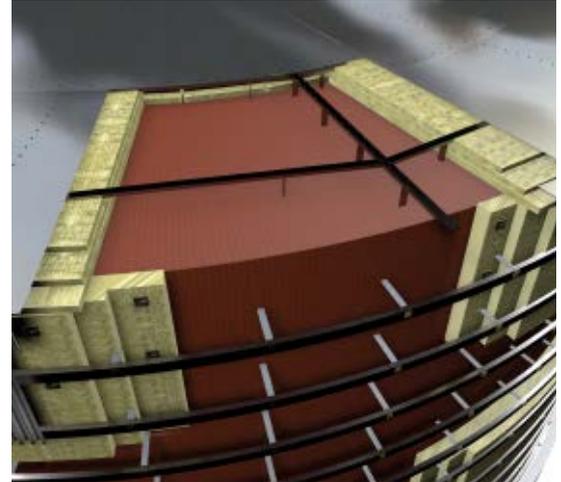
$W_s = 4 \text{ m/s}$.

Altura = 12.5 m.

$F = 1,05$.

$\Delta_\lambda = 0 \text{ W/(mK)}$.

Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.13$).



 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 4 Eficiencia energética
TECH ROLL 2.0 Alu2	TECH Slab 3.0
	
0,0 m ³	3,006.6 m ³
0.09 m	0.09 m
0.09 m	0.09 m
180 mm	180 mm
1,395.7 m ²	1,395.7 m ²
701.4 m ²	701.4 m ²
13,8 %	9,2 %
9.36 W/m ²	8,86 W/m ²
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
56 MWh/p.a.	53 MWh/p.a.
6.4 %	11,4 %
0.0 %	0.0 %
10.7 °C	10,8 °C
23 kg/m ³	34 kg/m ³
125.6 m ³	125.6 m ³
2.9 Tn	4.3 Tn

2.5. Tuberías de gran diámetro

Tubería de vapor sobrecalentado - Soluciones con Manta armada



El vapor sobrecalentado es un vapor a temperatura extrema alta generada calentando el vapor saturado obtenido de la evaporación de agua. Es ideal para procesos de secado al vapor, oxidación al vapor y procesos químicos. Como aplicación industrial, puede ser utilizado para limpiar, secar, como catálisis, proceso de reacciones químicas, sistemas de generación de energía e incluso nanotecnología.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	WM-AGI-Q-132: 80-120 kg/m³	TECH WM MT 5.1 
Área superficial tubería	2,393.9 m ²	2,393.9 m ²
Espesor L1	0.1 m	0.1 m
Espesor L2	0.1 m	0.1 m
Espesor L3	0.05 m	0.05 m
F	1	1
Δλ	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
Espesor total	250 mm	250 mm
Superficie total de aislamiento	10,637.4 m ²	10,637.4 m ²
Superficie de revestimiento	3,964.7 m ²	3,964.7 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	302.26 W/lm	288.05 W/lm
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	2,569 MWh/p.a.	2,448 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		4.7 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	12.2 °C	12.1 °C
Densidad de aislamiento	100 kg/m ³	100 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	86.5 m ³	865.5 m ³
Peso total	86.6 Tn	86.6 Tn

Hipótesis de cálculo

Pérdidas energéticas para un espesor máximo de aislamiento de 250 mm y máximas pérdidas energéticas de 305 W/lm en tuberías de vapor.

Diámetro = DN750.

$T_i = 340 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

$W_s = 4.5 \text{ m/s}$.

Longitud = 1000 m.

$P = 10 \text{ bar}$.

$Q = 60 \text{ T/h}$.

Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.13$)

Proyecto de referencia: Refinería Shell Pernis- Holanda



 Sistema 3 Ahorro de instalación	 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 5 Ahorro de espacio
U TECH WM 5.0	TECH WIRED MAT MT 6.1	TECH WIRED MAT MT 6.1
		
2,393.9 m ²	2,393.9 m ²	2,393.9 m ²
0.1 m	0.1 m	0.1 m
0.1 m	0.1 m	0.1 m
0.05 m	0.05 m	0 m
1	1	1
0.01 W/(mK)	0 W/(mK)	0 W/(mK)
250 mm	250 mm	200 mm
10,637.4 m ²	10,637.4 m ²	6,672.7 m ²
3,964.7 m ²	3,964.7 m ²	3,650.5 m ²
10.2% %	22.2% %	30.9% %
264.87 W/lm	253.48 W/lm	271.71 W/lm
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
2,251 MWh/p.a.	2,155 MWh/p.a.	2,310 MWh/p.a.
12.4 %	16.1 %	10,1 %
0.0 %	0.0 %	20,00 %
11.9 °C	11.9 °C	12.1 °C
55 kg/m ³	80 kg/m ³	128 kg/m ³
865.5 m ³	865.5 m ³	667,3 m ³
47.6 Tn	69.2 Tn	85.4 Tn

2.6. Tuberías de diámetro medio. Tubería de calefacción de distrito – Coquillas y Mantas armadas (dos capas)



La calefacción de distrito es un sistema de distribución de calor generado en una locación centralizada a través de un sistema de tuberías aisladas para requerimientos residenciales y comerciales como calefacción de edificios y de agua caliente sanitaria. El calor es obtenido desde una planta de cogeneración quemando combustibles fósiles o por biomasa.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	PS-AGI-Q-132: 50-80 kg/m³ WM-AGI-Q-132: 70-90 kg/m³	TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 4.2
		
Área superficial tubería	68.8 m ²	68.8 m ²
Espesor L1	0.04 m	0.04 m
Espesor L2	0.05 m	0.05 m
F	1.05	1.05
Δ_λ	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
Espesor total	90 mm	90 mm
Superficie total de aislamiento	219.3 m ²	219.3 m ²
Superficie de revestimiento	125.4 m ²	125.4 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %
Perdidas térmicas	149.51 W/lm	143.92 W/lm
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	127 MWh/p.a.	122 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		3.7 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	49.8 °C	48.87 °C
Densidad de aislamiento	75 kg/m ³	93 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	10.0 m ³	10.0 m ³
Peso total	0.8 Tn	0.93 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas energéticas para máxima temperatura superficial 50 °C en tuberías de vapor y condensados

Diámetro = 8".

$T_i = 250^\circ\text{C}$.

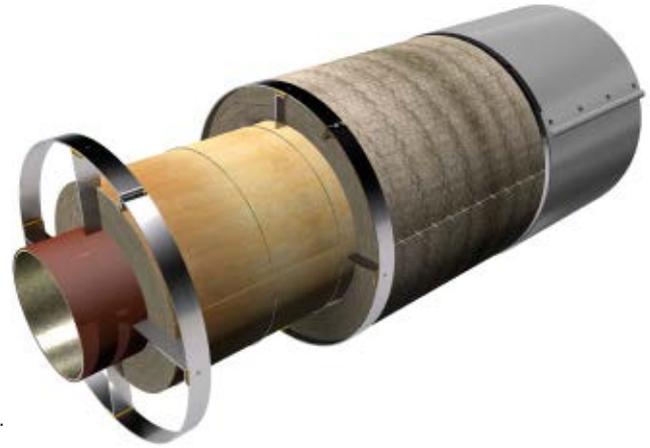
$T_e = 20^\circ\text{C}$.

Interior.

Longitud = 100 m.

Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.05$).

Proyecto de referencia: Refinería Shell Pernis- Holanda.



 Sistema 3 Ahorro de instalación	 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 5 Ahorro de espacio
TECH PS MT 4.0 TECH WM MT 4.2	TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 5.1	TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 6.1
		
68.8 m ²	68.8 m ²	68.8 m ²
0.04 m	0.04 m	0.04 m
0.05 m	0.05 m	0.04 m
1.05	1.05	1.05
0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
90 mm	90 mm	80 mm
219.3 m ²	219.3 m ²	213.1 m ²
125.4 m ²	125.4 m ²	119.1 m ²
7.9 %	-3.9 %	-3.9 %
137.77 W/lm	140.89 W/lm	140,16 W/lm
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
117 MWh/p.a.	120 MWh/p.a.	119 MWh/p.a.
7,9 %	5,8 %	6,3 %
0.0 %	0.0 %	11.1 %
47.9 °C	48,4 °C	48,3 °C
68 kg/m ³	104 kg/m ³	119 kg/m ³
10.0 m ³	10.0 m ³	8,5 m ³
0.68 Tn	1.04 Tn	0.98 Tn

2.7. Tuberías de diámetro medio - Alta temperatura

Tubería vapor saturado - Coquillas y Mantas armadas (multicapa)



La mayor parte del hidrógeno producido hoy en día se realiza a través de la reacción del metano con vapor de agua, un proceso de producción en el cual vapor de agua a elevadas temperaturas es usado para producir hidrógeno desde una fuente de metano, como el gas natural.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER	 Sistema 3 Ahorro de instalación
	PS-AGI-Q-132: 50-80 kg/m³ WM-AGI-Q-132: 70-90 kg/m³	TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 4.2 	TECH PS MT 4.1 U TECH WM MT 4.0 
Área superficial tubería	68.8 m ²	68.8 m ²	68.8 m ²
Espesor L1	0.1 m	0.1 m	0.1 m
Espesor L2	0.1 m	0.1 m	0.1 m
Espesor L3	0.05 m	0.05 m	0.05 m
F	1.05	1.05	1.05
Δ_λ	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
Espesor total	250 mm	250 mm	250 mm
Sup. total de aislamiento	552.1 m ²	552.1 m ²	552.1 m ²
Superficie de revestimiento	225.9 m ²	225.9 m ²	225.9 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %	7.9 %
Perdidas térmicas	271.06 W/lm	226.84 W/lm	241.01 W/lm
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	230 MWh/p.a.	193 MWh/p.a.	205 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		16.3 %	11.1 %
Reducción de espesor		0.0 %	0.0 %
Temperatura superficial	49.5 °C	46.2 °C	47.4 °C
Densidad de aislamiento	75 kg/m ³	75 kg/m ³	55 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	43.9 m ³	43.9 m ³	43.9 m ³
Peso total	3.3 Tn	3.3 Tn	2.4 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas energéticas para máxima temperatura 50 °C en tuberías de procesos

Diámetro = 8".

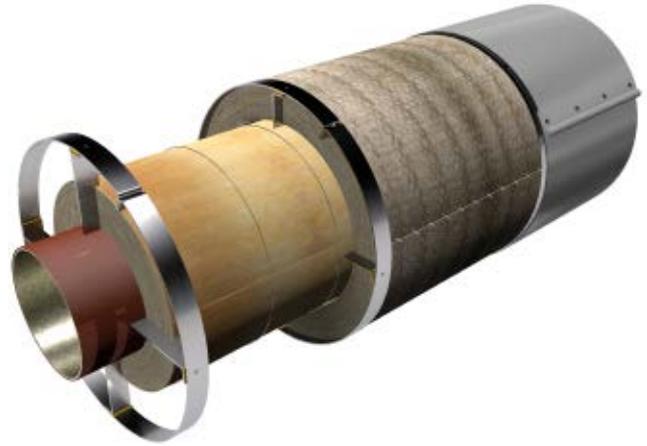
Length = 100 m.

$T_i = 500 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Interior.

Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.05$).



Sistema 4 Eficiencia energética

TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 5.1	U TECH PS MT 4.0 U TECH WM 5.0
	
68.8 m ²	68.8 m ²
0.1 m	0.1 m
0.1 m	0.1 m
0.05 m	0.05 m
1.05	1.05
0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
250 mm	250 mm

Sistema 5 Ahorro de espacio

TECH PS MT 4.1 TECH WM MT 6.1	TECH PS MT 4.0 U TECH WM 6.0
	
68.8 m ²	68.8 m ²
0.1 m	0.1 m
0.07 m	0.07 m
0.06 m	0.06 m
1.05	1.05
0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
230 mm	230 mm

552.1 m ²	552.1 m ²
225.9 m ²	225.9 m ²
-2.0 %	5.9 %

520.7 m ²	520.7 m ²
213.3 m ²	213.3 m ²
-3.9 %	2.0 %

221.29 W/lm	211.75 W/lm
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
188 MWh/p.a.	180 MWh/p.a.
18.4 %	21.9 %
0.0 %	0.0 %
45.7 °C	44.8 °C

227.83 W/lm	240.42 W/lm
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
194 MWh/p.a.	204 MWh/p.a.
1.9 %	11.3 %
8.0 %	8.0 %
50.0 °C	48.6 °C

100 kg/m ³	65 kg/m ³
43.9 m ³	43.9 m ³
4.4 Tn	2.9 Tn

115 kg/m ³	75 kg/m ³
38.3 m ³	38.3 m ³
4.4 Tn	2.9 Tn

2.8. Tuberías de pequeño diámetro – Baja temperatura

Tubería de agua caliente – Coquillas



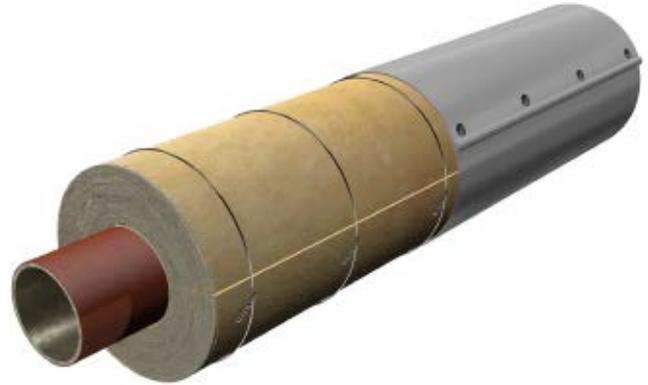
Las tuberías de agua caliente se utilizan comúnmente para dar servicio de calefacción y ACS. A pesar que la temperatura dentro de este tipo de tuberías no es muy alta, si la longitud es larga, se puede perder en la distribución una gran cantidad de calor si no está correctamente aislado.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	PS-AGI-Q-132: 50-80 kg/m³	TECH PS MT 4.0
		
Área superficial tubería	28.7 m ²	28.7 m ²
Espesor L1	0.09 m	0.09 m
F	1	1
Δ_λ	0 W/(mK)	0 W/(mK)
Espesor total	90 mm	90 mm
Superficie total de aislamiento	74.0 m ²	74.0 m ²
Superficie de revestimiento	74.0 m ²	74.0 m ²
Perdidas térmicas	19.46 W/lm	18.58 W/lm
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	13.2 MWh/p.a.	12.6 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		4.5 %
Reducción de espesor		0.0 %
Temperatura superficial	24.6 °C	24.4 °C
Densidad de aislamiento	75 kg/m ³	53 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	6.7 m ³	6.7 m ³
Peso total	0.5 Tn	0.35 Tn

Hipótesis de cálculo

Perdidas térmicas < 20 W/ml en tubería de agua

Diámetro = 4".
 $T_i = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 $T_e = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 Interior.
 Length = 80 m.
 Accesorios (Z_v): 0.15.
 Revestimiento: aluminio oxidado ($\epsilon = 0.05$).
 Proyecto: Hotel Accor, Francia.



 Sistema 3 Eficiencia energética	 Sistema 4 Ahorro de espacio
U TECH PS MT 4.0 U PROTECT PS Alu	U TECH PS MT 4.0 U PROTECT PS Alu2
	
28.7 m ²	28.7 m ²
0.12 m	0.08 m
1	1
0 W/(mK)	0 W/(mK)
120 mm	80 mm
89.0 m ²	68.9 m ²
89.0 m ²	68.9 m ²
17.02 W/lm	19.44 W/lm
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
11.6 MWh/p.a.	13.2 MWh/p.a.
12.5 %	0.1 %
-33.3 %	11.1 %
24.4 °C	24.8 °C
65 kg/m ³	65 kg/m ³
10.7 m ³	5.5 m ³
0.7 Tn	0.4 Tn

2.9. Aislamiento de válvulas – Temperatura media

Cajas y colchonetas desmontables



Una colchoneta aislada es un encapsulado desmontable relleno de aislante para aquellos equipos que necesiten revisiones periódicas de mantenimiento. Contiene una cubierta termo-resistente la cual protege y retiene el aislante dentro de él. Con este sistema se pueden aislar bridas, válvulas, bombas, juntas de expansión, e incluso equipos completos.

	Sistema 1 Sin aislamiento	Sistema 2 Solución Estándar	Sistema 3 Solución Estándar ISOVER
		Caja desmontable WM-AGI-Q-132: 70-90 kg/m³	Caja desmontable TECH WM MT 4.2 
Espesor L1		0.09 m	0.09 m
F		1,1	1.1
Δ_{λ}		0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
Espesor total	0 mm	90 mm	90 mm
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %	0.0 %
Perdidas térmicas	3278.17 W	175.95 W	174.49 W
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	27.9 MWh/p.a.	1.5 MWh/p.a.	1.5 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		94.6 %	94.7 %
Temperatura superficial	249.8 °C	43.4 °C	43.2 °C

Hipótesis de cálculo

Perdidas energéticas en válvula de tubería de aceite térmico

Diámetro = 8".

$T_i = 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_e = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Interior.

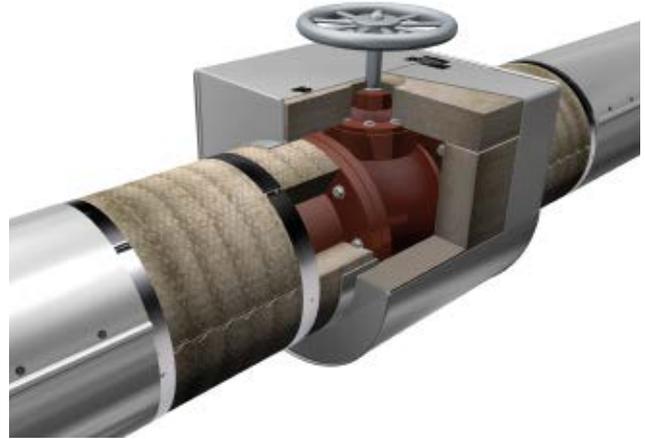
Eq. length = 1 m.

Revestimiento caja desmontable:

aluminio brillante ($\epsilon = 0.05$).

Revestimiento colchoneta: textil ($\epsilon = 0.94$).

Proyecto de referencia: Ecluse, Holanda.



 Sistema 4 Ahorro de instalación	 Sistema 5 Eficiencia energética	
Colchonetas U TECH Roll 4.0 	Caja desmontable TECH WM MT 5.1 	Caja desmontable TECH WM MT 6.1 
0.09 m	0.09 m	0.09 m
1.1	1.1	1.1
0.08 W/(mK)	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
90 mm	90 mm	90 mm
90.0 %	0.0 %	0.0 %
300.15 W	167.37 W	163.74 W
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
2.6 MWh/p.a.	1.4 MWh/p.a.	1.4 MWh/p.a.
90.8 %	94.9 %	95.0 %
40.2 °C	42.0 °C	41.4 °C

2.10. Aislamiento de bridas – Temperatura media – Cajas y colchonetas desmontables



Una colchoneta aislada es un encapsulado desmontable relleno de aislante para aquellos equipos que necesiten revisiones periódicas de mantenimiento. Contiene una cubierta termo-resistente la cual protege y retiene el aislante dentro de él. Con este sistema se pueden aislar bridas, válvulas, bombas, juntas de expansión, e incluso equipos completos.

	Sistema 1 Sin aislamiento	Sistema 2 Solución Estándar	Sistema 3 Solución Estándar ISOVER
		Caja desmontable WM-AGI-Q-132: 70-90 kg/m³	Caja desmontable TECH WM 4.1 
Espesor L1		0.09 m	0.09 m
F		1,1	1.1
Δ_{λ}		0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
Espesor total	0 mm	90 mm	90 mm
Ahorros de tiempos de instalación		0.0 %	0.0 %
Perdidas térmicas	1639,09 W	87.9 W	87.2 W
Horas laborales	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	13,9 MWh/p.a.	0.75 MWh/p.a.	0.75 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		94.6 %	94.7 %
Temperatura superficial	249.8 °C	43.4 °C	43.2 °C

Hipótesis de cálculo

Energéticas en brida de tubería de aceite térmico

Diámetro = 8".

Ti = 250 °C.

Te = 15 °C.

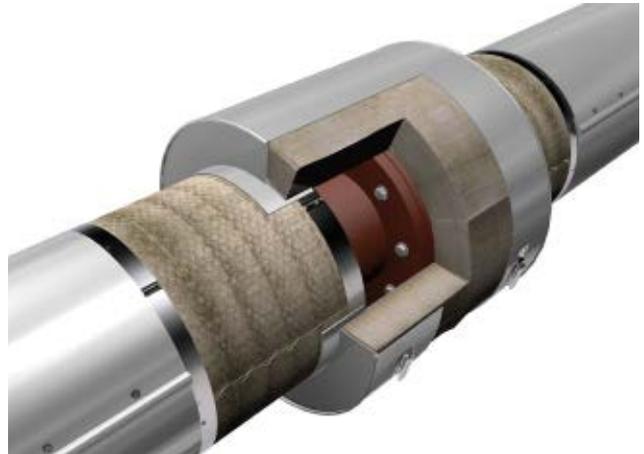
Interior.

Longitud equivalente = 1 m.

Revestimiento encapsulado: aluminio brillante ($\epsilon = 0.05$).

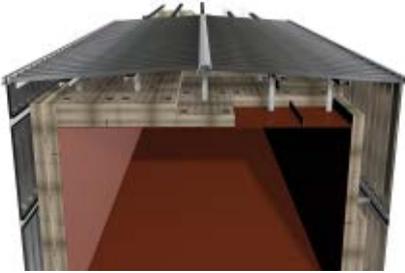
Revestimiento colchoneta: textil ($\epsilon = 0.94$).

Proyecto Ecluse, Holanda.



 Sistema 4 Ahorro de instalación	 Sistema 5 Eficiencia energética	
Colchonetas U TECH Roll 4.0	Caja desmontable TECH WM 5.1	Caja desmontable TECH WM 6.1
		
0.09 m	0.09 m	0.09 m
1.1	1.1	1.1
0.08 W/(mK)	0.01 W/(mK)	0.01 W/(mK)
90 mm	90 mm	90 mm
90.0 %	0.0 %	0.0 %
150,08 W	83.8 W	81.7 W
8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.	8,500 h/p.a.
1,3 MWh/p.a.	0,7 MWh/p.a.	0,7 MWh/p.a.
90.8 %	94.9 %	95,0 %
40.2 °C	42.0 °C	41.4 °C

2.11. Conducto de gases de combustión, Desnitrificación / Desulfuraciónn SCR FLUE GAS – Mantas armadas



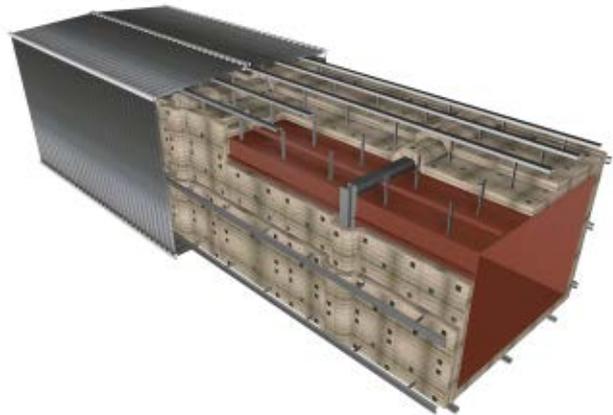
Es de vital importancia el correcto control de los procesos de energía de una planta y el aislamiento térmico se convierte en una prioridad para la gestión de los gases que circulan por conductos y chimeneas producidos por la combustión. La aparición de ácidos producto de los condensados que aceleran la corrosión puede llegar a reducir la vida útil de estos elementos.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	Rock Wool felt 100kg/m3	TECH WM MT 5.1 
Superficie total conducto	976,0 m ²	976,0 m ²
Espesor L1	0,1 m	0,1 m
Espesor L2	0,1 m	0,1 m
Espesor L3	0,05 m	0,05 m
Espesor total	250 mm	250 mm
Sup. total de aislamiento	3.016,0 m²	3.016,0 m²
Superficie de revestimiento	1.016,0 m ²	1.016,0 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		5,9 %
Perdidas térmicas	163,87 W/m²	161,59 W/m²
Horas laborales	7.560 h/p.a.	7.560 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	1.259 MWh/p.a.	1.241 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		1,4 %
Reducción de espesor		0,0 %
Temperatura superficial	20,4 °C	20,2 °C
Caida de temperatura	0,4 °C	0,4 °C
Densidad de aislamiento	100 kg/m ³	100 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	250,8 m ³	250,8 m ³
Peso total	25,1 Tn	25,1 Tn

Hipótesis de cálculo

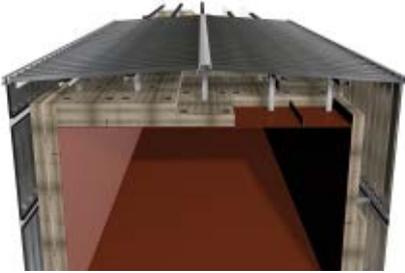
Conducto de gases de escape de dimensiones 6,1 x 6,1

Longitud= 40 m.
 Ti=435 °C, velocidad del gas: 20,2 m/s Ambiente: 5 °C.
 F = 1,2 velocidad del viento: 5 m/s.
 hout= 23 [W/(m2K)].
 Revestimiento. Aluminio limpio, Emisividad: 0.13.
 $\Delta\lambda = 0.0085 \text{ W/(mK)}$ (espaciadores de acero en forma de barra plana 50 x 5 mm).
 Referencia: SCR FLUE GAS. Aboño, España.



 Sistema 3 Ahorro de instalación	 Sistema 4 Eficiencia energética	 Sistema 5 Ahorro de espacio
U TECH WM MT 4.0	TECH WM MT. 6.1	TECH WM MT. 6.1
		
976,0 m ²	976,0 m ²	976,0 m ²
0,1 m	0,1 m	0,1 m
0,1 m	0,1 m	0,1 m
0,05 m	0,05 m	9 m
250 mm	250 mm	200 mm
3.016,0 m²	3.016,0 m²	2.000,0 m²
1.016,0 m ²	1.016,0 m ²	1.008,0 m ²
9,8 %	-2,0 %	-2,0 %
150,37 W/m²	137,11 W/m²	171,08 W/m²
7.560 h/p.a.	7.560 h/p.a.	7.560 h/p.a.
1.155 MWh/p.a.	1.053 MWh/p.a.	1.304 MWh/p.a.
8,2 %	16,3 %	-3,6 %
0,0 %	0,0 %	20,0 %
19,1 °C	17,9 °C	21,0 °C
0,4 °C	0,4 °C	0,5 °C
55 kg/m ³	128 kg/m ³	128 kg/m ³
250,8 m ³	250,8 m ³	200,0 m ³
13,8 Tn	32,1 Tn	25,6 Tn

2.12. Conducto de gases de escape, Absorbedor – Mantas armadas



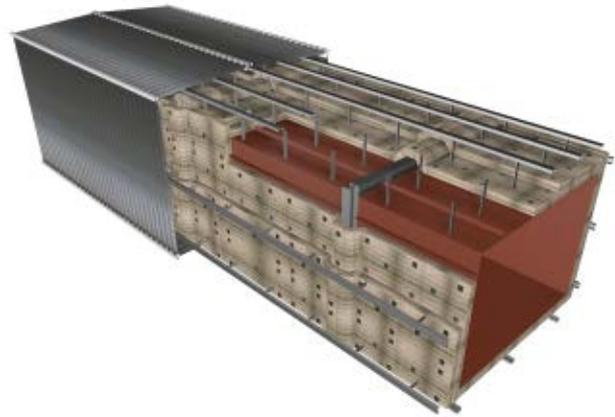
Es de vital importancia el correcto control de los procesos de energía de una planta y el aislamiento térmico se convierte en una prioridad para la gestión de los gases que circulan por conductos y chimeneas producidos por la combustión. La aparición de ácidos producto de los condensados que aceleran la corrosión puede llegar a reducir la vida útil de estos elementos.

	Sistema 1 Solución Estándar	Sistema 2 Solución Estándar ISOVER
	Rock Wool felt 100kg/m³	TECH WM MT 3.1 
Volumen tanque	720,0 m ²	720,0 m ²
Espesor L1	0.06 m	0.06 m
Espesor L2	0.06 m	0.06 m
Espesor total	120 mm	120 mm
Sup. total de aislamiento	1.458.07 m²	1.458.07 m²
Superficie de revestimiento	732,0 m ²	732,0 m ²
Ahorros de tiempos de instalación		5,9 %
Perdidas térmicas	89,39 W/m²	89,15 W/m²
Horas laborales	7.560 h/p.a.	7.560 h/p.a.
Perdidas energéticas totales	495 MWh/p.a.	495 MWh/p.a.
Ahorros energéticos		0,3 %
Reducción de espesor		0,0 %
Temperatura superficial	18,8 °C	18,9 °C
Caida de temperatura	0,13 °C	0,13 °C
Densidad de aislamiento	100 kg/m ³	70 kg/m ³
Volumen total de aislamiento	87,5 m ³	87,5 m ³
Peso total	8,7 Tn	6,1 Tn

Hipótesis de cálculo

Conducto de gases de escape de dimensiones 8x7,2

Longitud= 25.
 Ti = 185 °C, velocidad del gas: 18 m/s Tambiente: 15 °C
 F = 1,2 , Velocidad viento: 20m/s.
 Hout = 23 [W/(m²K)];
 Revestimiento. Aluminio limpio, Emisividad: 0.13.
 $\Delta\lambda = 0.0085 \text{ W/(mK)}$ (espaciadores de acero en forma de barra plana 50 x 5 mm).
 Proyecto de referencia: SCR FLUE GAS. Absorbedor.



  Sistema 3 y 4. Ahorro de instalación y eficiencia energética		 Sistema 5 Ahorro de espacio	
U TECH WM MT 4.0		U TECH WM MT 4.0	
			
720,0 m ²		720,0 m ²	
0.06 m		0.05 m	
0.06 m		0.05 m	
120 mm		100 mm	
1.458.0 m²		1.455,0 m²	
732,0 m ²		730,0 m ²	
9,8 %		9,8 %	
82,65 W/m²		98,63 W/m²	
7.560 h/p.a.		7.560 h/p.a.	
457 MWh/p.a.		544 MWh/p.a.	
7,5 %		-10,0 %	
0,0 %		16,7 %	
18,6 °C		19,3 °C	
0,12 °C		0,14 °C	
55 kg/m ³		55 kg/m ³	
87,5 m ³		77,8 m ³	
4,8 Tn		4,0 Tn	

3. Procedimientos generales de instalación de aislamiento

3.1. Introducción

El objetivo del aislamiento reducir las elevadas pérdidas térmicas a través de las superficies de equipos, depósitos y tuberías, etc., que debido a las necesidades mecánicas y/o a las elevadas temperaturas, se construyen de materiales metálicos con elevadas conductividades térmicas. La reducción del flujo de calor aportada por el aislamiento, supone en primer lugar un ahorro importante en la partida correspondiente al coste energético, pero también posibilita el correcto desarrollo de los diferentes procesos industriales. Otra parte importante a considerar como consecuencia de la reducción de las pérdidas energéticas, es el control de temperatura de la superficie exterior (cara fría), que puede suponer un riesgo para las personas (quemaduras), así como evitar el congelamiento en tuberías o equipos en ambientes de baja temperatura.

Por último, pero no menos importante, el aislamiento es clave para reducir el impacto al medio ambiente. Optimizando la eficiencia del aislamiento maximizará el potencial de ahorro de CO₂, proporcionando un amortiguador contra un aumento de los futuros costes de energía ISOVER ofrece una amplia gama de productos en diferentes formas, dependiendo de la aplicación, temperatura de funcionamiento, requisitos específicos o adaptabilidad a la superficie de aislamiento: coquillas, mantas armadas, paneles y rollos de lanas minerales.

A continuación aparece una descripción general de los sistemas de aislamiento más comunes utilizados en la industria con la única intención de proporcionar algunas pautas prácticas y recomendaciones basadas en nuestra experiencia y enfocado principalmente en la instalación de los materiales aislantes. Los estándares de aislamiento térmico y más concretamente las especificaciones de aislamiento térmico aprobados para cada proyecto es la que debe prevalecer, ya que es el que describe en detalle el procedimiento de aislamiento y requisitos para adaptarse mejor las particularidades del proyecto.

Cualquier descripción detallada del revestimiento metálico y sistemas de soporte asociados, materiales de acabado flexibles, así como los materiales auxiliares se excluyen intencionalmente del alcance de estas pautas excepto cuando sea necesario.

3.2. Prevención, seguridad y salud laboral en la instalación de aislamiento térmico

Antes del inicio de los trabajos de instalación de aislamiento térmico, toda compañía contratista debe cumplir los requisitos exigidos por el cliente respecto a EHS (salud, seguridad y medioambiente). El contratista por tanto deberá cumplir todos los requisitos relativos a seguridad y salud de los trabajadores contenidos en el contrato, y en la legislación vigente en cada país, para todo el sistema de aislamiento, incluyendo los materiales, la preparación de las superficies, la instalación del aislamiento, la gestión de residuos, etc. Todos los productos suministrados dispondrán de Ficha de datos de seguridad. Antes del inicio de los trabajos o de cualquier actividad, el contratista remitirá a su cliente para su aprobación, el plan de seguridad y salud o un plan de prevención con el mínimo contenido siguiente:

- Organización de la prevención en obra, estructura organizativa y responsabilidades.
- Evaluación de riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores de todas las actividades a ejecutar, teniendo en cuenta las condiciones del entorno y la información contenida en las fichas de seguridad de cada uno de los materiales a utilizar.
- Medidas y actividades de protección y prevención aplicables a los riesgos señalados.
- Plan de emergencia que contemple los primeros auxilios, la lucha contra incendios y la evacuación de los trabajadores.
- Programa de controles periódicos de las condiciones de trabajo y de las actividades para detectar y corregir situaciones potencialmente peligrosas.

En relación con medioambiente el contratista deberá cumplir con las exigencias relacionadas con la política medioambiental del cliente tales como:

- Especificaciones de medio ambiente para suministradores y contratistas.
- Procedimientos de gestión de residuos industriales
- Instrucciones para la recogida, manipulación, envasado, almacenamiento y gestión interna de residuos.
- Política medioambiental del cliente.

3.3. Observaciones generales

Todos los materiales de aislamiento y acabado deben ser nuevos, libre de daños, conforme a los requisitos y deben ser protegidos de la humedad durante el transporte, almacenamiento e instalación. En climas húmedos, el aislamiento instalado debe estar protegido temporalmente hasta la aplicación final del revestimiento por medio de films temporales de polietileno. Independientemente de si se está utilizando o no un recinto temporal, el aislamiento debe estar protegido contra la entrada de agua en todo momento.

Los trabajos de aislamiento no comenzarán hasta que hayan sido completados todos los recubrimientos necesarios, pruebas de presión, trabajos de soldadura y pruebas de fugas para tuberías o equipos.

Un documento de autorización debe ser emitido para cada elemento por parte del cliente antes de comenzar el trabajo de aislamiento

La corrosión bajo aislamiento sigue siendo un importante problema, y para minimizar los efectos de CUI, es importante que se considere con detalle, en primer lugar, la preparación de la superficie, en segundo lugar, la instalación adecuada minimizando el riesgo de ingreso de agua y tercero, la inspección de mantenimiento, visual o de otro tipo, del aislamiento una vez instalado.

Dado que CUI es básicamente la corrosión del metal debajo del aislamiento, la primera solución para prevenirlo es proteger este metal del agua líquida y / u oxígeno. Esto se hace generalmente con pinturas o capas protectoras anti-corrosión. Por lo tanto, antes la aplicación de cualquier aislamiento, se recomienda que todas las tuberías de acero al carbono de baja aleación, acero inoxidable y los equipos estén protegido contra la corrosión. Para evitar que el aislamiento se moje se debe instalar un recubrimiento apropiado, prestando especial atención a las áreas de entrada y salida de la tubería, conexiones, bridas, áreas de registro, soportes, orejetas o áreas donde hay una ruptura en el aislamiento y por lo tanto donde exista la posibilidad de penetración de agua o humedad.

El siguiente paso será verificar que la superficie esté, en la medida como sea posible, completamente seca, libre de aceite, grasa, escamas y partículas sueltas originadas por cualquier proceso de ensamblaje (rebabas, salpicaduras de soldadura, polvo, etc.) antes de la instalación del aislamiento.

Incluso si la protección metálica exterior no es parte del alcance trabajo del instalador de aislamiento, es muy recomendable verificar si se ha aplicado correctamente e informar a la propiedad si se detectan riesgos.

Además, para evitar la corrosión bajo el aislamiento así como mantener prestaciones térmicas térmico, el sistema de aislamiento siempre debe estar diseñado e instalado para minimizar el riesgo de entrada y acumulación de agua, manteniendo todo sistema lo más seco posible. Como a largo plazo la ausencia de entrada de agua no puede garantizarse por completo y considerando las propiedades higroscópicas de la Lana Mineral, debe ser diseñado una solución para prevenir la acumulación de agua (como tapones de drenaje y agujeros) junto con mantenimiento y control.

El aislamiento y la protección deben estar adecuadamente soportados y asegurados, y se debe prestar atención a los soportes en el proceso del diseño del equipo. Las piezas individuales de material aislante deben adherirse perfectamente entre ellas hacia las superficies que están siendo aisladas.

La protección metálica debe asegurarse con flejes tornillos autorroscantes y / o remaches ciegos.

Las chapas metálicas para revestimiento deben ser de la mayor longitud posible para minimizar el número de juntas. El revestimiento debe ser fabricado a partir del modelo seleccionado de perfilado de chapa y ensamblada al contorno, siempre siendo instalado para evitar la entrada de agua. Dondela impermeabilización es obligatoria, todas estas juntas deben estar completamente selladas. Se deben evitar huecos o cavidades tanto como sea posible.

El tipo de sistemas de soporte para el revestimiento cuando sea necesario, estará determinado por el tamaño, la geometría y requisitos específicos del componente equipo a aislar.

En todos los casos es muy recomendable la instalación de pequeñas piezas cerámicas o tejido de vidrio en las juntas entre distanciadores y los anillos de soporte para minimizar puentes térmicos.

Al instalar el aislamiento y los soportes asociados o distanciadores se debe evitar cualquier posible daños al revestimiento exterior.

3.4. Sistemas de montaje del aislamiento en tuberías

Dependiendo del tamaño, geometría, tipo de material de la tubería, tipo de aislamiento, tipo de recubrimiento exterior y especificación particular del aislamiento térmico existen diferentes detalles particulares en cada uno de los procedimientos enumerados.

ISOVER ofrece una amplia gama de soluciones de lanas d vidrio, lanas de roca y ULTIMATE® especialmente diseñado para tuberías industriales en forma de coquillas y mantas: TECH Pipe Section/ TECH Wired Mat/ U TECH Pipe Section/ U TECH Wired Mat/ U TECH Pipe Section Mat.

La mejor opción dependerá de cada caso particular y estará sujeto a varios factores incluyendo la temperatura de operación, el tamaño de la tubería, la facilidad de instalación entre otros.

En la descripción siguiente se enumeran estos procedimientos de forma generalizada, siendo la especificación de aislamiento térmico de cada proyecto la responsable de describir pormenorizadamente cada uno de los procedimientos del montaje de aislamiento.

3.4.1. Tramos rectos. Una capa de aislamiento

3.4.1.1. Soluciones Coquillas

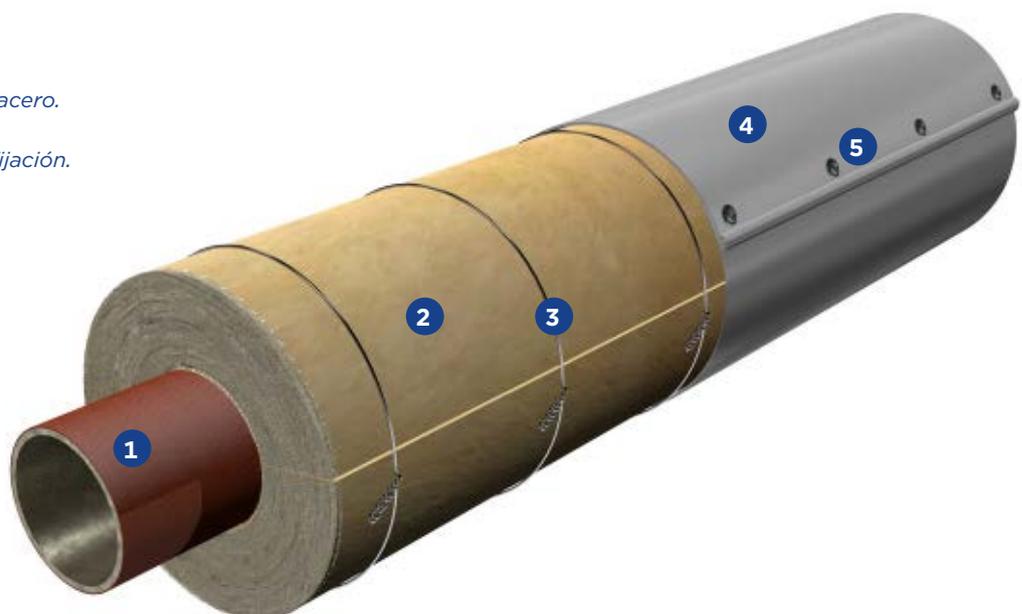
ISOVER TECH Pipe Sections son coquillas concéntricas, pre-cortadas para facilitar la apertura y el encaje sobre las tuberías. Pueden ser utilizados sin soportes estructurales y con longitud de hasta 1.2 m que hace que la instalación sea rápida y eficiente reduciendo también significativamente los puentes térmicos.

El primer paso es abrir ligeramente el corte longitudinal de la coquilla para encajarla en la tubería. Para tuberías horizontales los cortes longitudinales deben estar ubicados en la parte inferior. Para tuberías verticales deberían tener un escalonamiento alrededor de 30 grados.

Posteriormente, la coquilla debe asegurarse en su lugar colocando lazadas de alambre de acero (0.5 mm de diámetro) alrededor del perímetro de la tubería y estrechamente entrelazados e incrustado los extremos en el aislamiento mismo. El máximo el espacio recomendado entre las lazadas de alambre será de 300 mm, dejando al menos 3 lazadas por metro lineal.

Figura 1. Tubería - Tramos rectos (Coquillas), diámetro pequeño

1. Tubería.
2. Coquilla.
3. Lazada de alambre de acero.
4. Revestimiento.
5. Tornillos rosca chapa, fijación.



3.4.1.2. Soluciones Wired Mat

Antes del aislamiento, se colocarán anillos distanciadores cuando sea necesario como estructura de soporte para ofrecer protección mecánica y para mantener una distancia uniforme entre el revestimiento y la superficie de la tubería. Al instalar soportes soldados, el sistema de aislamiento se talará después y se adaptará al tipo de soporte.

El método estándar que se utiliza para el aislamiento flexible de las tuberías de diámetro medio y grande suele ser la instalación de mantas armadas. La Lana Mineral de ISOVER TECH Wired Mat y U TECH Wired Mat están cosidas con alambre galvanizado en malla de alambre galvanizada hexagonal para una instalación flexible y fácil, especialmente en tuberías de gran diámetro. También está disponible con revestimiento de aluminio reforzado, así como con alambre y malla de alambre de acero inoxidable (recomendado para tuberías que funcionan temperaturas > 400 °C).

Para un sistema de aislamiento hermético, las secciones individuales serán juntadas a tope, juntas escalonadas y se unirán con alambre de acero inoxidable de 0,5-1 mm de diámetro o n ganchos de 50 mm.

En el caso de mantas de alambre galvanizado, se utilizarán ganchos galvanizados.

Para la fijación de manta armadas de acero inoxidable, se deberán usar flejes de acero inoxidable con dimensiones mínimas 12 mm x 0.5 mm y a intervalos de ≤ 300 mm.

3.4.1.3. Soluciones de aislamiento especiales

Como método estándar utilizado para aislamiento flexible con tuberías de gran diámetro, ISOVER ofrece alternativas de aislamiento que no requieren instalación con estructuras de soporte debido a la fuerza excepcional a la compresión.

- ULTIMATE® Pipe Section Mats (PSM), la solución extra eficiente para aislar tuberías de gran diámetro. La longitud y el corte en forma de V están adaptados de fábrica al diámetro y espesor final requerido.

Las mantas armadas deben ser previamente cortadas a un tamaño igual que al “diámetro externo de la tubería + 2 veces el espesor de la tubería” del aislamiento de tubería, sin dejar puentes térmicos una vez instalado. Este es un gran beneficio ya que el producto se entrega empaquetado para ahorrar espacio y coste de transporte, no siendo así necesario ningún tipo de corte en el lugar de trabajo. El tejido de vidrio mejora la resistencia mecánica durante y después de la instalación. También se encuentran disponibles previa solicitud partes pre-cortadas para codos y conexiones.

La manta se coloca fácilmente en la tubería, adaptándose muy rápido a ella. Las mantas armadas de tubería PSM son normalmente aseguradas usando lazos de acero alrededor del perímetro de la tubería.

Esta solución es altamente recomendada para diámetros grandes por su ligereza, fuerza de compresión y facilidad de instalación.

Figura 1. Tubería - Tramos rectos (Wired Mat)

1. Cinta de tejido de vidrio.
2. Espaciador.
3. Anillo distanciador.
4. Tubería.
5. Cosido.
6. Manta armada.
7. Revestimiento.
8. Tornillos rosca-chapa, fijación.

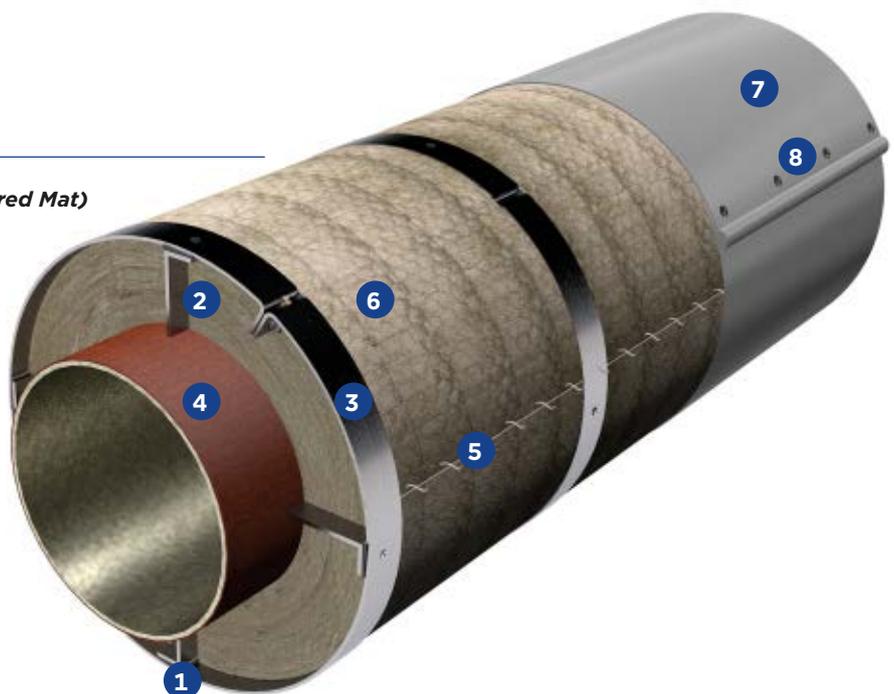




Figura 3. Tubería - Tramos rectos (PSM)

1. Tubería.
2. Manta armada.
3. Lazada de alambre.
4. Revestimiento.
5. Tornillos rosca-chapa, fijación.

3.4.2 Tramos rectos. 2 o más capas de aislamiento

Antes del aislamiento, se colocarán anillos distanciadores cuando sea necesario como estructura de soporte para el aislamiento y como protección mecánica, y para mantener una distancia uniforme entre el revestimiento y la superficie de la tubería.

Al instalar soportes soldados, el sistema de aislamiento se instalará después y se adaptará al tipo de soporte.

Cuando el espesor requerido del aislamiento es mayor de 100 mm o cuando las temperaturas de funcionamiento son por encima de 300 °C, normalmente se recomienda usar varias capas de aislamiento cuyo número dependerá del espesor final requerido. El espesor de aislamiento total se obtendrá mediante tres combinaciones posibles:

- Varias capas de **coquillas**, TECH Pipe Section/ U TECH Pipe Section.

- Varias capas de manta **Wired Mats**, TECH Wired Mat, U TECH Wired Mat.
- Varias capas mixtas de coquilla **Pipe Sections** y **Manta armada**.

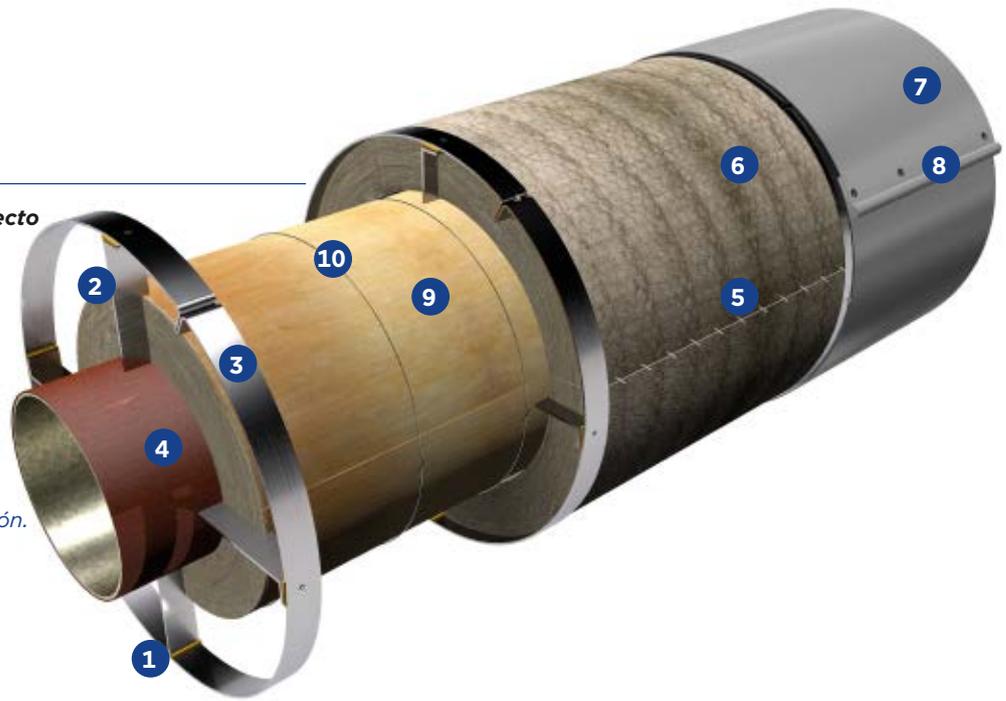
El aislamiento debe ser instalado en 2 o más capas asegurándose que las juntas longitudinales y horizontales estén escalonados entre capas para evitar puentes térmicos.

La instalación y sujeción de las soluciones propuestas, debe realizarse de la misma manera como en los capítulos anteriores (Pipe Section y Wired Mat).

Para tuberías de diámetro mayor de 250 mm, la sujeción de la capa exterior de aislamiento debe reforzarse con flejes de acero galvanizado o inoxidable con dimensiones mínimas de 12 mm x 0.5 mm en intervalos ≤ 300 mm.

Figure 4. Tubería - Tramo recto (Coquilla + Manta armada)

1. cinta de tejido de vidrio.
2. Distanciator.
3. Anillo soporte.
4. Tubería.
5. Cosido.
6. Manta armada.
7. Revestimiento .
8. Tornillo rosca chapa-fijación.
9. Coquilla.
10. Lazada de alambre.



3.4.3. Secciones curvas

Cuando las tuberías están aisladas con coquillas ISOVER TECH, los codos se aíslan cortando las coquillas en segmentos adaptados al tamaño y superficie del codo, para luego proceder a abrir ligeramente el corte longitudinal

de la coquilla para que encaje en la tubería, colocando los cortes longitudinales en la parte inferior.

Se determinará el ángulo de corte para los segmentos, dependiendo del radio de curvatura del codo.

Entonces cada segmento estará asegurado en su lugar por al menos un cordón de alambre alrededor del perímetro del codo y estrechamente entrelazando e incrustando los extremos del alambre en el mismo aislamiento.

Para tuberías aisladas con soluciones ISOVER TECH Wired, el aislamiento del codo debe hacerse por medio de piezas de manta armada (**en forma de pez**) debidamente cortado usando plantillas

Para un sistema de aislamiento hermético, los segmentos de manta armada individuales se unirán a tope, se instalarán con juntas escalonadas y se coserán con un alambre de acero inoxidable de diámetro de 0,5-1 mm o ganchos de manta de acero inoxidable en un paso de 50 mm. En el caso de mantas de alambre galvanizado, se utilizarán ganchos galvanizados.

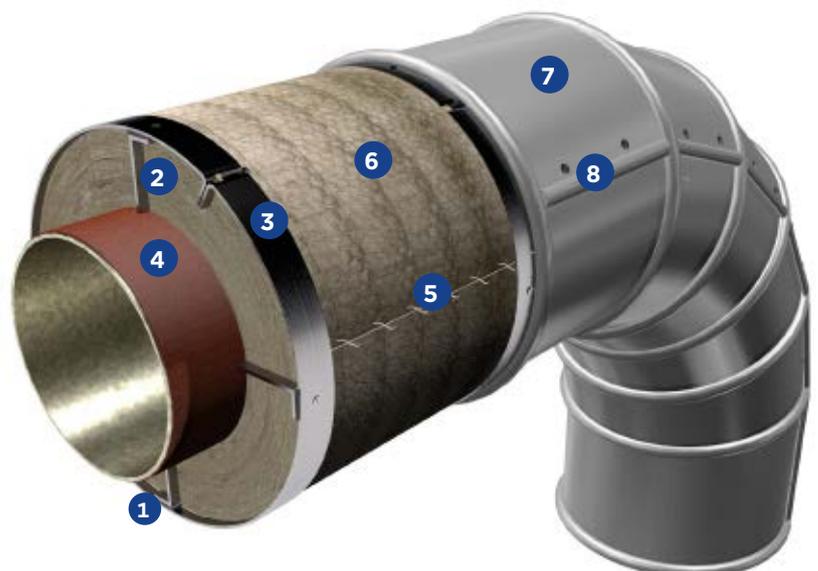
Para la fijación de mantas armadas, se pueden utilizar flejes de acero inoxidable con dimensiones mínimas 12 mm x 0.5 mm y a intervalos de ≤ 300 mm

Para codos de diámetro mayor de 24" la fijación de las coquillas o mantas armadas deben ser reforzadas mediante soportes de acero galvanizado o inoxidable en cada extremo del codo.

El espesor del aislamiento debe ser el mismo que en la tubería adyacente.

Figure 5. Tubería - Codos (Manta armada)

1. Cinta de tejido de vidrio.
2. Espaciador.
3. Anillo de soportes.
4. Tubería.
5. Cosido.
6. Manta armada.
7. Revestimiento.
8. Tornillo rosca chapa- fijación.



3.4.4. Bridas y válvulas

Es importante tener en cuenta que, dejar válvulas, bridas y otros accesorios no aislados, conduce a un aumento de pérdidas energéticas y compromete el mantenimiento de la temperatura límite que afecta negativamente el buen funcionamiento de los diferentes procesos industriales.

Los encapsulados o cajas desmontables se utilizan normalmente para aislar bridas y válvulas. Dichas cajas también pueden construirse para aislar varios elementos pequeños de equipos. Las cajas desmontables se construirán en al menos dos partes, con el revestimiento metálico del mismo tipo que el revestimiento de la tubería adyacente.

El lado interno de la caja estará forrado con TECH Wired Mat / U TECH Wired Mat, que se fija con pasadores, piezas de acero en forma de Z o retenedores. Ambas partes de la caja se unirán con cierres de presión (el número de cierres estará sujeto al tamaño de la caja). Para unas mejores prestaciones térmicas y antes de instalar el encapsulado con el aislamiento, se recomienda usar lana suelta para llenar el espacio y huecos interiores.

El espesor del aislamiento debe ser el mismo que en la tubería contigua.

Las cajas se instalarán después de haber realizado el trabajo de aislamiento en la tubería principal.

Los trabajos de aislamiento en la tubería deben pararse cerca de las bridas y válvulas (mínimo 30 mm) para facilitar la extracción de pernos de brida sin alterar aislamiento existente en la tubería adyacente. En tales puntos, se debe prevenir la entrada de humedad, por impermeabilización y sellado. Especialmente para tuberías en exterior, se puede necesitar un sellado adicional entre el revestimiento de la caja desmontable y el revestimiento de la tubería principal.

Cuando se requiere impermeabilización, la parte superior de la caja deben estar diseñada de tal manera que la parte superior deslice agua con una ligera pendiente, y las juntas deben bloquear la entrada de agua.

Las cajas deben tener un orificio de drenaje en el punto más bajo para permitir el drenaje de líquidos evitando corrosión bajo aislamiento.

Las cajas desmontables se superpondrán a la tubería adyacente sobre una distancia de al menos del espesor del aislamiento con un mínimo de 50 mm. El desmontaje de la caja no debe comprometer la integridad de aislamiento adyacente.

Figura 6. Tubería - Válvulas

1. Manta armada.
2. Caja desmontable.
3. Válvula.
4. Cierre rápido.

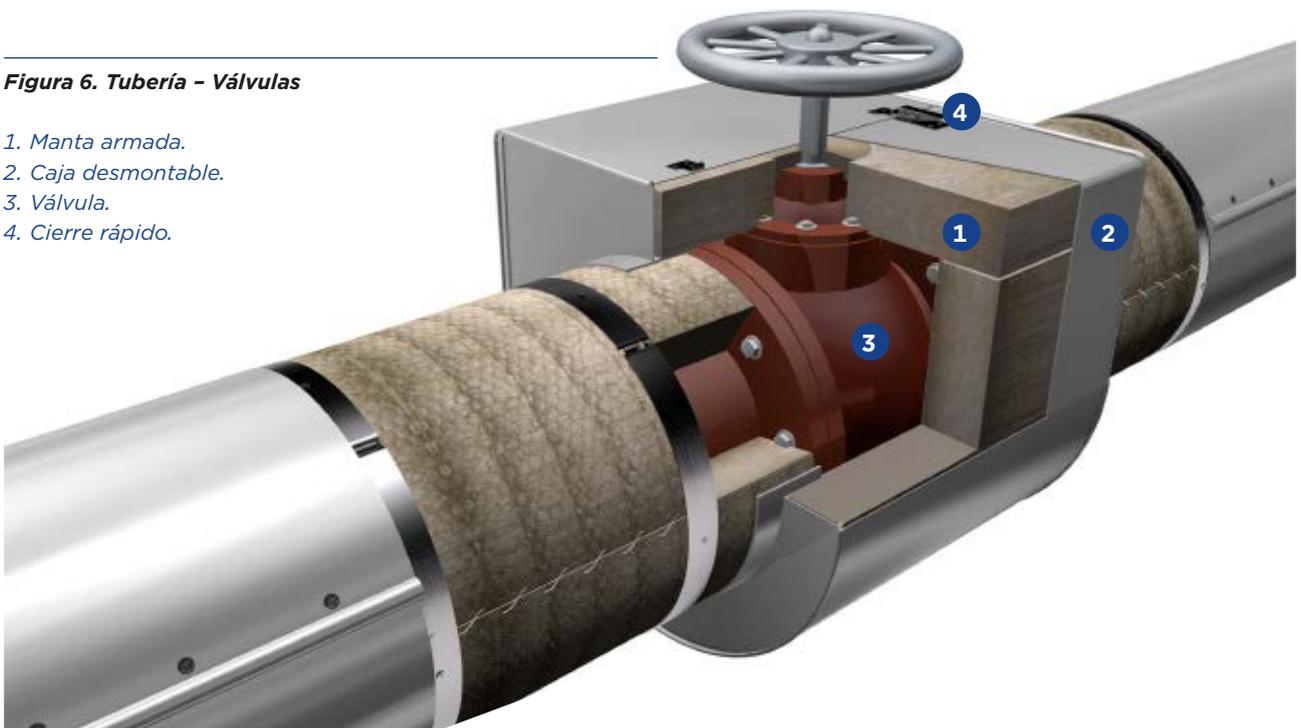
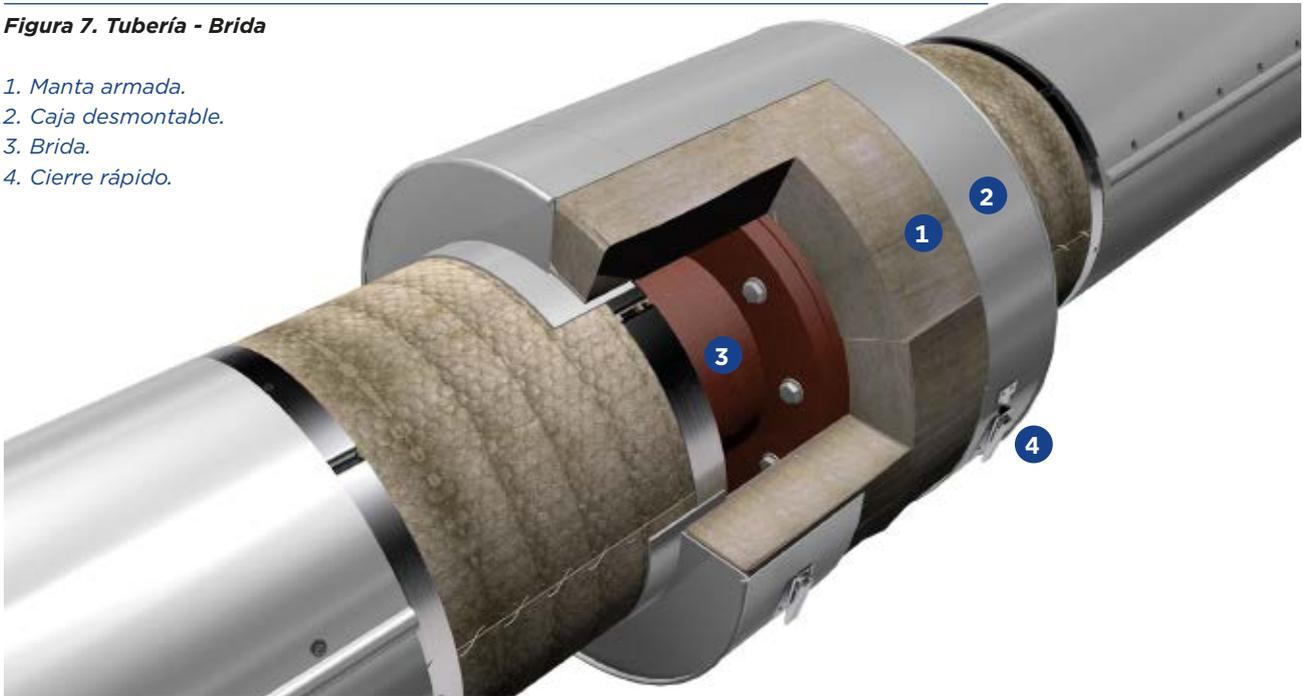


Figura 7. Tubería - Brida

1. Manta armada.
2. Caja desmontable.
3. Brida.
4. Cierre rápido.



3.4.5. Tuberías con traceado

Para líneas de traceado de vapor el conjunto formado por la tubería principal y la línea de traceado deben estar completamente rodeado con malla electro-soldada galvanizada o de acero inoxidable, con las juntas cosidas con alambre de acero galvanizado o inoxidable. En esos casos, donde hay varias líneas de traceado, la malla de acero podría ser reemplazada por un revestimiento interior de chapa.

Para sistemas de traceado eléctrico, el conjunto formado por la tubería principal y las líneas de traceado deben estar completamente rodeado con un film de aluminio antes de colocar el aislamiento.

El objetivo principal de estos sistemas de protección es evite tener material aislante en el espacio entre la tubería principal y las líneas de traceado, con una consiguiente reducción en la transmisión de calor requerida del sistema.

El método estándar utilizado para el aislamiento de los sistemas de traceado de tuberías de diámetro medio y grande suele ser la instalación de mantas armadas. Lana Mineral de ISOVER TECH Wired Mat y U TECH Wired MAT, se coserán con alambre galvanizado para una instalación fácil y flexible especialmente en tuberías de gran diámetro. También está disponible la manta armada con revestimiento de aluminio reforzado, así como con alambre y malla de acero inoxidable (recomendado para tuberías que funcionan a $T > 400$ °C).

Las Mantas armadas se cortarán previamente a un tamaño igual al "diámetro exterior de la tubería + doble del espesor de la manta" y será instalado en la tubería.

Para mejorar la hermeticidad los segmentos individuales serán unidos a tope, las juntas serán escalonadas y se coserá alambre de acero inoxidable de 0,5-1 mm de diámetro o ganchos para mantas de alambre o de acero inoxidable con un paso de 50 mm. En el caso de mantas de alambre galvanizado, se utilizarán ganchos de acero inoxidable. Las uniones longitudinales del aislamiento se colocará en el lado opuesto de la línea de traceado. Para la fijación las mantas armadas, se utilizarán flejes de acero inoxidable con dimensiones mínimas 12 mm x 0.5 mm y a intervalos de ≤ 300 mm.

Las tuberías de vapor serán aisladas con coquillas, Los diámetros de las coquillas se sobredimensionarán con diámetros iguales a los diámetros de la tubería más la línea de traceado.

El primer paso es abrir ligeramente el corte longitudinal de la coquilla para que encaje en el sistema de traceado y luego cada la pieza debe asegurarse en su lugar colocando la lazada de alambre de acero de (0,5 mm de diámetro) alrededor del perímetro de la coquilla y estrechamente entrelazados e incrustados los extremos en el propio aislamiento. El máximo recomendado espacio entre las lazadas será de 300 mm, dejando al menos 3 lazadas por metro lineal.

Figura 8. Tubería - Tramo Recto - Traceado 1 elemento

1. Tubería principal.
2. Tubería traceado.
3. Malla de alambre.
4. Manta armada.
5. Lazada de alambre.
6. Cosido.
7. Revestimiento.
8. Tornillo rosca chapa- fijación.

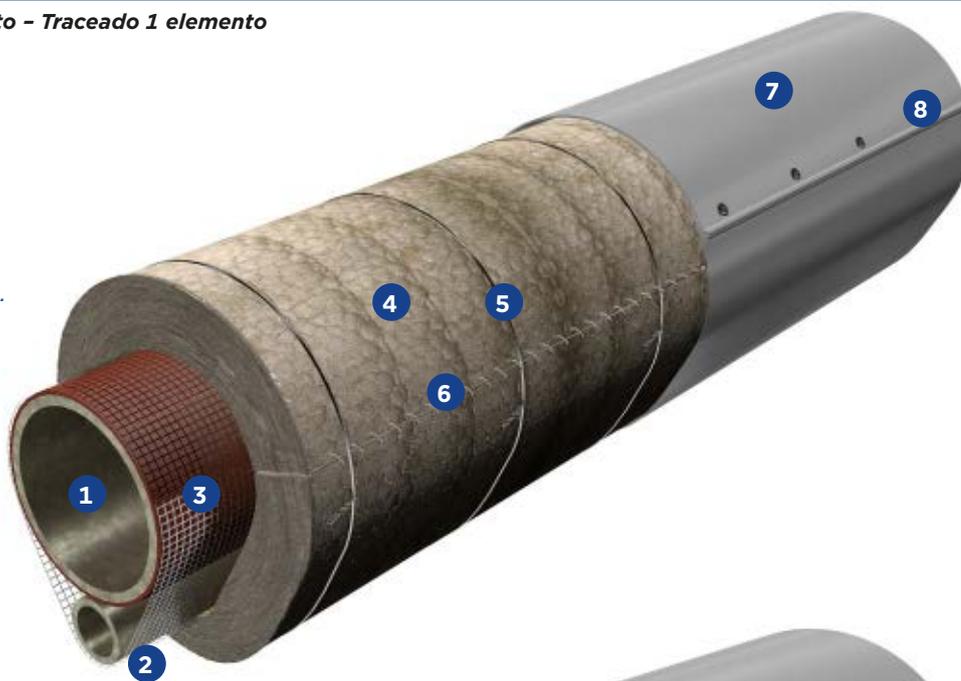
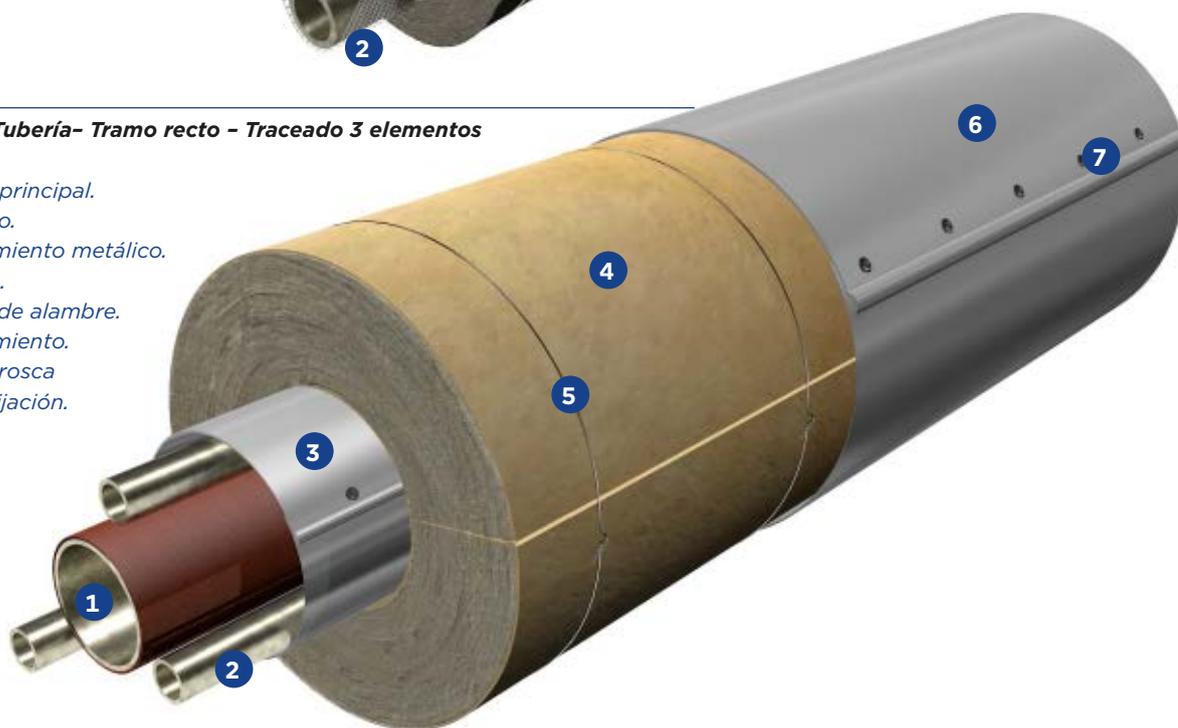


Figura 9. Tubería- Tramo recto - Traceado 3 elementos

1. Tubería principal.
2. Traceado.
3. Revestimiento metálico.
4. Coquilla.
5. Lazada de alambre.
6. Revestimiento.
7. Tornillo rosca chapa-fijación.



3.4.6. Otros componentes de tubería

En instalaciones industriales, hay otros componentes en los que se debe instalar aislamiento térmico. Estos incluyen conexiones en T, soportes de tubería, reductores concéntricos y juntas de expansión. Para instalar aislamiento de Lana Mineral en estos componentes, previamente se debe seguir la orientación dada para las tuberías. Como regla general, el espesor del aislamiento será el mismo que en la tubería contigua. A continuación, se muestran algunos dibujos a modo de ejemplo.

Figura 10. Tubería en T

1. Tubería.
2. Distanciadores.
3. Anillo de soporte.
4. Cinta de tejido de vidrio.
5. Manta armada.
6. Cosido.
7. Revestimiento.
8. Tornillo rosca chapa- fijación.

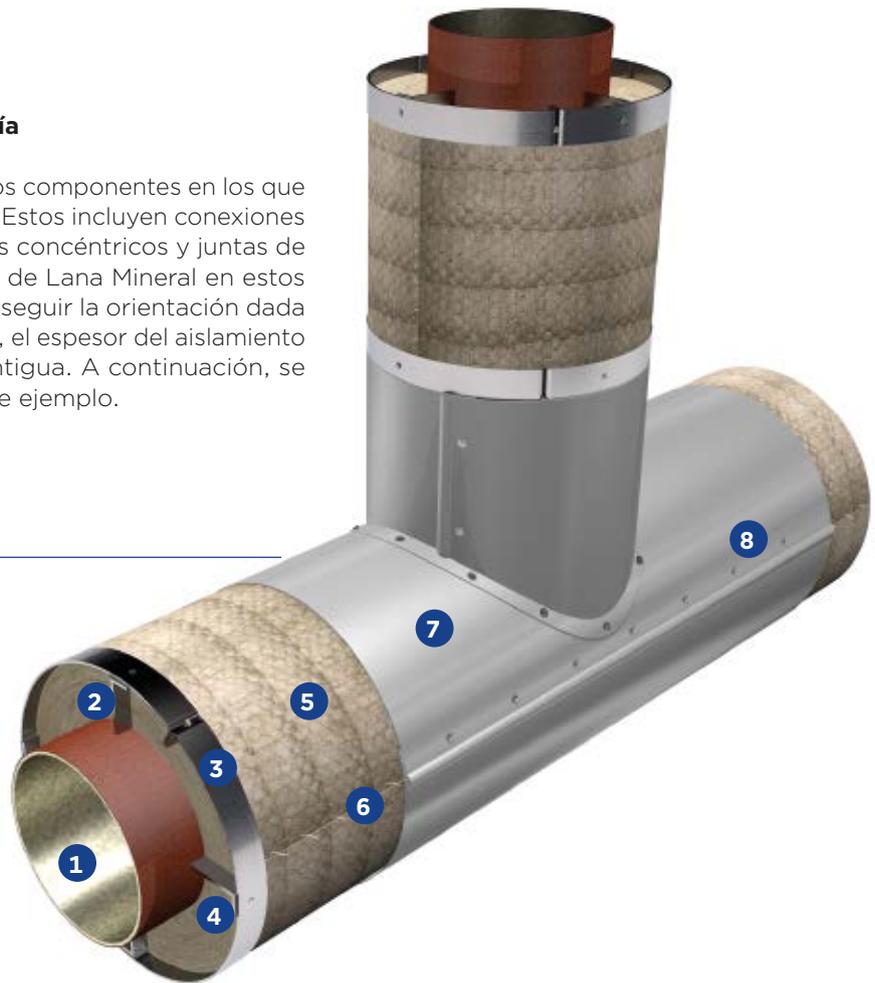


Figure 11. Tubería - Soporte

1. Tubería.
2. Distanciador.
3. Anillo de soporte.
4. Cinta de tejido de vidrio.
5. Manta armada.
6. Cosido.
7. Revestimiento.
8. Tornillo rosca chapa-fijación.

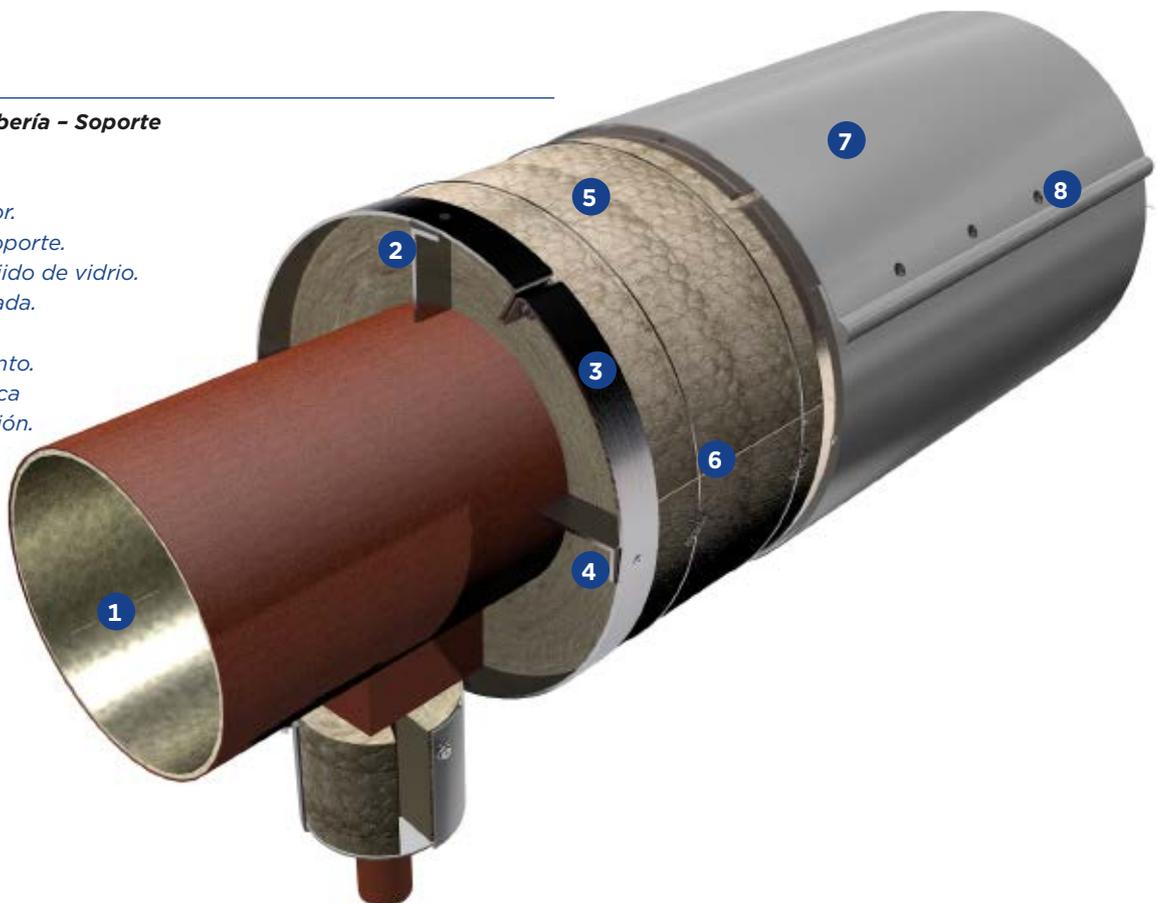


Figura 12. Tubería - Reducción concéntrica

1. Tubería.
2. Distanciadores.
3. Anillo de soporte.
4. Cinta de tejido de vidrio.
5. Manta armada.
6. Cosido.
7. Revestimiento.
8. Tornillo rosca chapa-fijación.

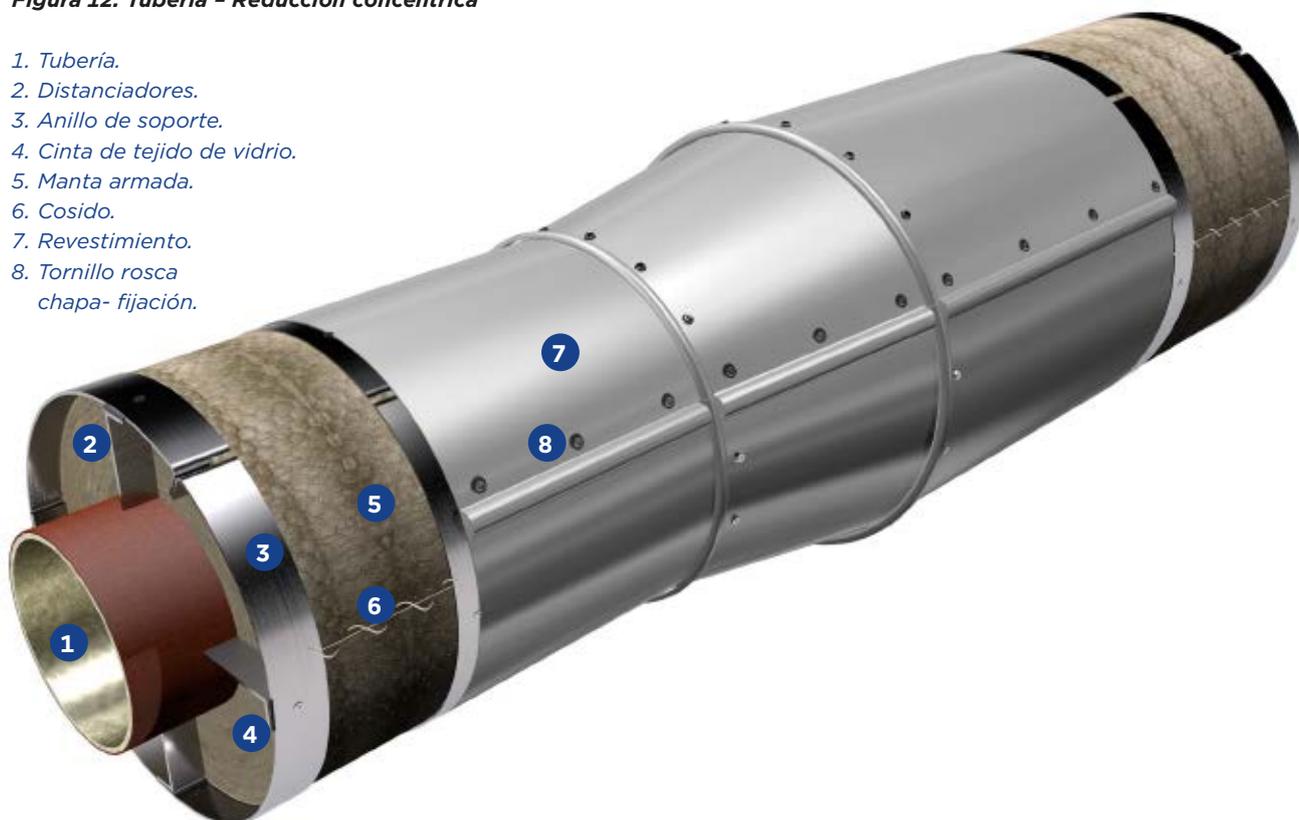
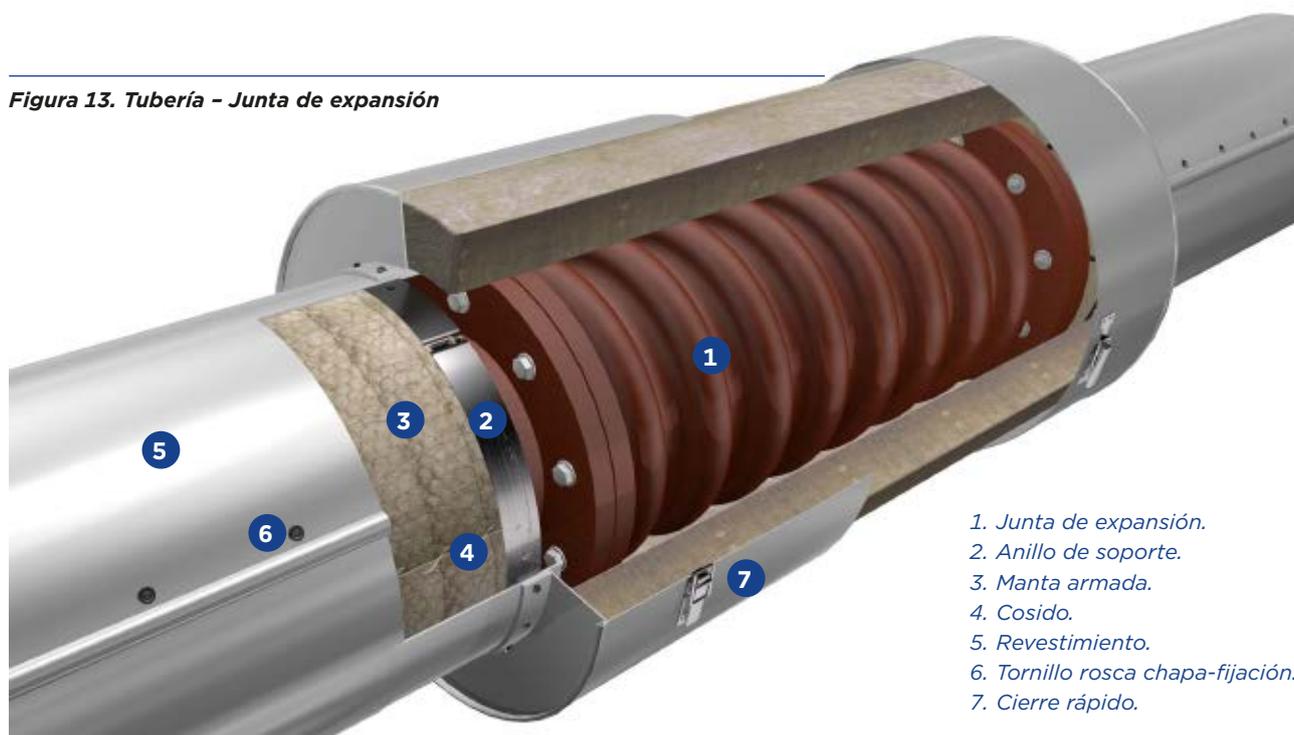


Figura 13. Tubería - Junta de expansión

1. Junta de expansión.
2. Anillo de soporte.
3. Manta armada.
4. Cosido.
5. Revestimiento.
6. Tornillo rosca chapa-fijación.
7. Cierre rápido.



3.5. Sistemas de aislamiento para equipos y tanques

Hay que tener en cuenta detalles específicos en el proceso de instalación del aislamiento como son el tamaño, geometría y tipo de material del equipo, tipo de aislamiento, revestimiento, además de las especificación particulares de aislamiento térmico.

ISOVER ofrece una amplia gama de soluciones de lanas de vidrio, de roca y ULTIMATE® específicamente diseñado para equipos industriales y tanques con formatos de mantas, rollos y paneles.

La mejor opción dependerá de cada caso particular y será sujeto a varios factores incluyendo la temperatura de trabajo, tamaño del equipo o facilidad de instalación, entre otros.

Antes de realizar la instalación, se instalarán anillos distanciadores cuando sea necesario como estructura soporte y protección mecánica del aislamiento, y para mantener una distancia uniforme entre el revestimiento y la superficie del tanque o equipo. Cuando se instalen soportes soldados, el sistema de aislamiento debe ser adaptado a cada tipo de soporte. Cuando el espesor requerido del aislamiento sea mayor de 100 mm o cuando las temperaturas estén por encima de 300 °C, se recomienda usar varias capas de aislamiento donde el número de ellas dependerá del espesor final requerido. En sistemas multicapas de aislamiento las juntas circunferenciales deben estar escalonadas con una separación de al menos 150 mm.

Como regla general las mantas deben ser instaladas horizontales con juntas verticales escalonadas y los paneles deben ser instalados verticales con juntas circunferenciales escalonadas.

Se recomienda instalar paneles preferiblemente en componentes con superficies planas o superficies curvas con un gran radio de curvatura, y mantas armadas en componentes más pequeños cuando los refuerzos, soportes, se puedan instalar fácilmente. Para aplicaciones con alta demanda de resistencia a la compresión como los techos de los tanques, se recomienda la instalación de paneles.

Para aumentar la hermeticidad del sistema de aislamiento, los segmentos individuales se instalarán a tope con todas las juntas escalonadas. Las soluciones de Lana Mineral de ISOVER se coserán con alambre galvanizado sobre malla de alambre galvanizado para instalación flexible y fácil, las juntas deben ser cosidas con alambre de acero inoxidable de 0,5 - 1 mm de diámetro o con ganchos de acero inoxidable con un paso de 50 mm. En el caso de mantas de alambre galvanizado, se usarán ganchos de acero galvanizado.

Para el aislamiento de tapas de equipos, ya sean cónico o esférico, las mantas o paneles se cortarán para adaptarse a la superficie a aislar. El aislamiento se instalará y coserá con lazadas de alambre y se asegurará con flejes radiales fijadas a un anillo flotante en el centro de la cabeza, y un anillo de soporte fijo en la carcasa alrededor del perímetro de la cabeza. El espaciado de los flejes en el anillo de soporte no debe exceder los 150 mm. Los revestimientos de metal en los fondos de los recipientes deben fabricarse con una superposición, dispuestas para desviar el agua. En el caso de ubicaciones en exterior, el revestimiento debe sellarse para evitar que entre humedad debajo del revestimiento vertical.

Cuando los techos fijos de los tanques calientes requieren aislamiento, se instalará un marco en el techo para proporcionar un medio de fijación positivos para el material de revestimiento. La transición del techo a la pared debe ser diseñado para ser resistente a la intemperie. En muchos casos, el aislamiento se une mediante picos previamente soldado a la carcasa del componente a ser aislado, conduciendo las diferentes capas aislantes sobre estos picos y colocando una arandela elástica metálica en la última capa aislante. Para la fijación de mantas armadas y paneles se deben usar flejes de acero inoxidable con dimensiones mínimas 19 mm x 0,5 mm y a intervalos de ≤ 300 mm. En equipos con faldones, el aislamiento se extenderá por una longitud de al menos cuatro veces el aislamiento requerido espesor.

Para equipos de gran diámetro, se recomienda flejes de acero con muelles para evitar la caída de las chapas metálicas en el caso de fuertes vientos o tormentas, y también permitir la expansión del tanque. El revestimiento debe ser totalmente resistente a la intemperie y construido para expansión y contracción por cambio de temperatura en los tanques. En el caso de entradas/salidas de tuberías, conexiones, puertos de inspección, pozos de registro, soportes, orejetas de elevación o áreas donde haya una ruptura en el aislamiento, se prestará especial atención para asegurar la continuidad del aislamiento, y que no haya puentes térmicos y todas las superficies y juntas en el revestimiento están dispuestos para desviar el agua

Se usarán "colchonetas" para aislar puertos de inspección, desagües, pozos de registro, bridas ciegas, etc. En el caso de cajas desmontables, éstas se construirán en al menos dos partes, con el revestimiento metálico del mismo tipo que el revestimiento de la tubería adyacente. El lado interno de la caja estará forrado con TECH Wired Mat / U TECH Wired Mat, que se fija con pasadores, piezas de acero en forma de Z o collares de aterrizaje. Ambas partes de la caja se unirán mediante cierres rápidos (el número de cierre será sujeto al tamaño de la caja). Para unas mejores prestaciones térmicas y antes de instalar la caja desmontable, se recomienda utilizar lana suelta para llenar el espacio interior y los huecos restantes. A continuación se presentan algunas ilustraciones detalladas de recipientes horizontales y verticales, columnas, tanques, calderas y conductos de escape.

Figura 14. Equipo Horizontal

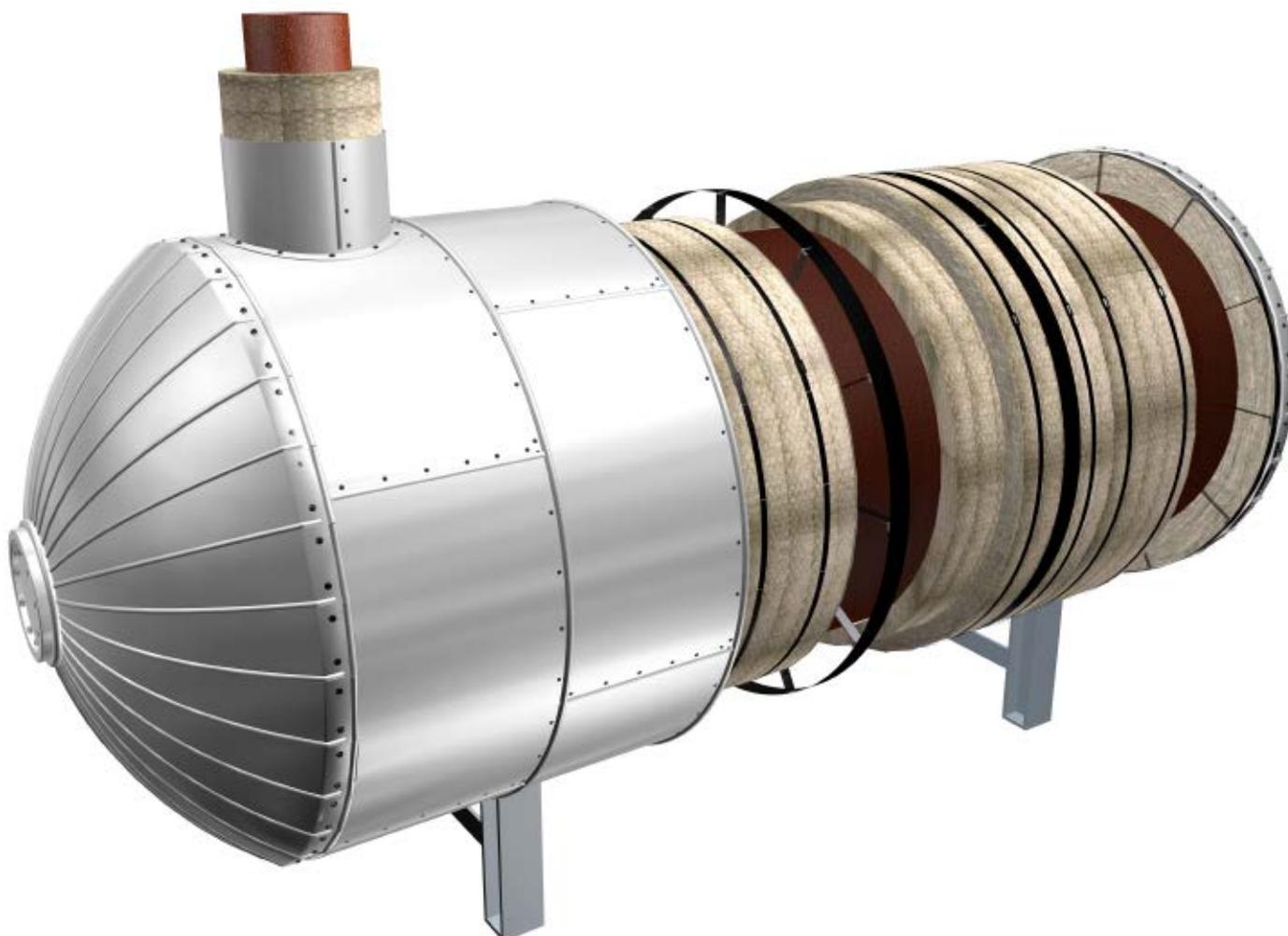


Figura 15. Equipo Vertical



Figura 16. Equipo vertical. Detalle 1



Figura 17. Equipo vertical. Detalle 2



Figura 18. Columna

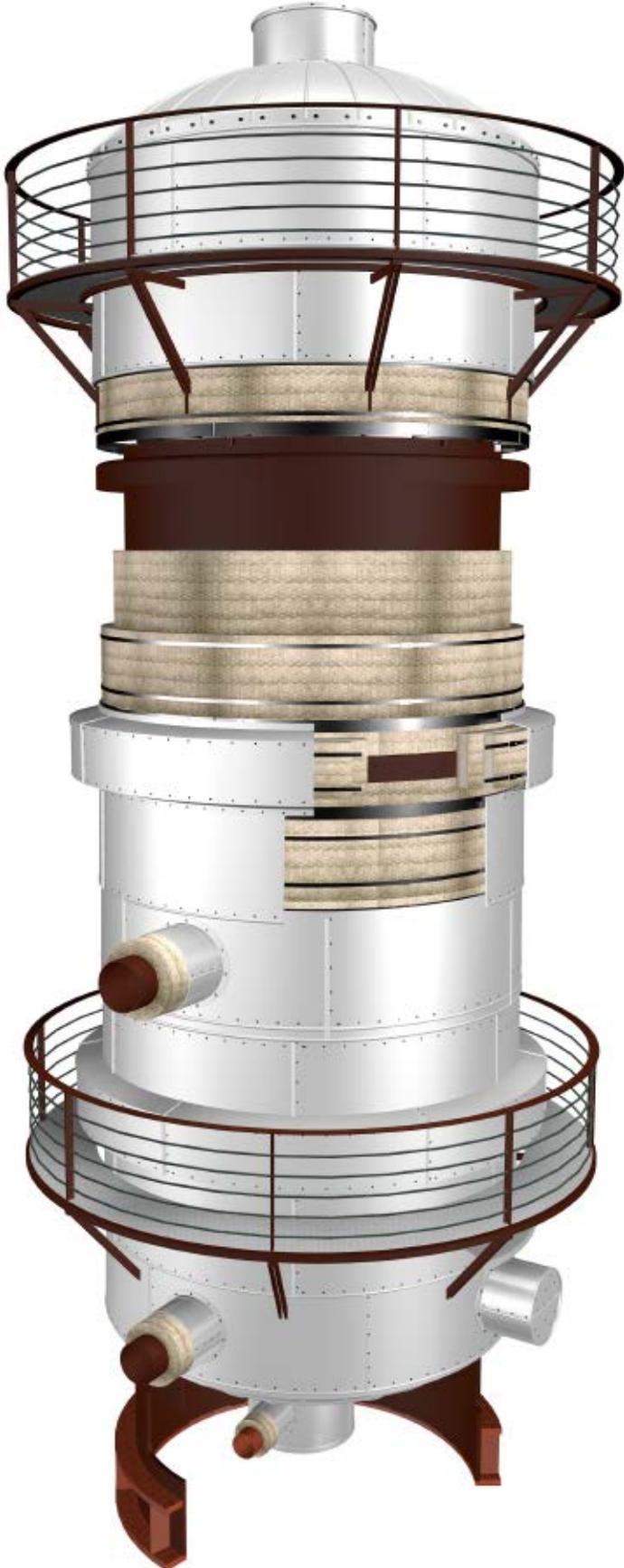


Figura 19. Columna. Detalle 1

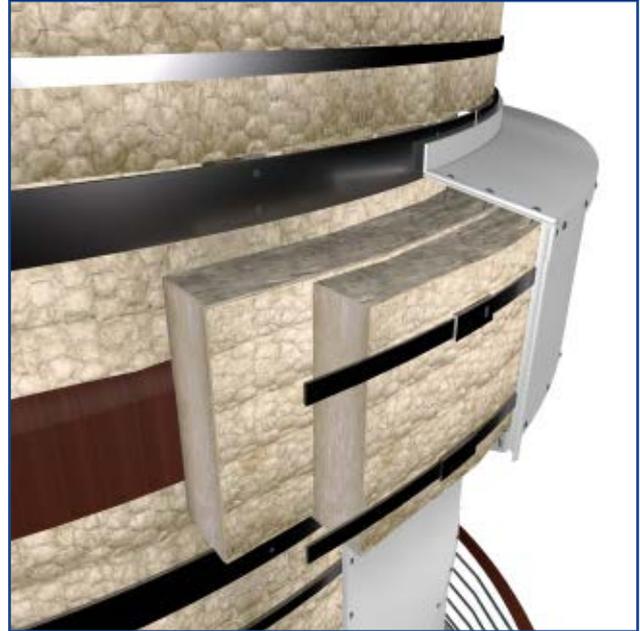


Figura 20. Columna. Detalle 2

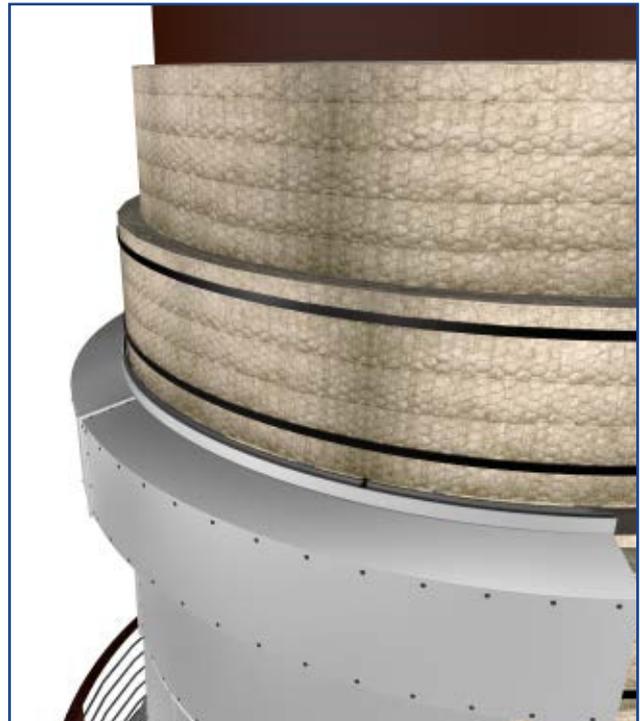


Figura 21. Tanque de almacenamiento (Mantas armadas)

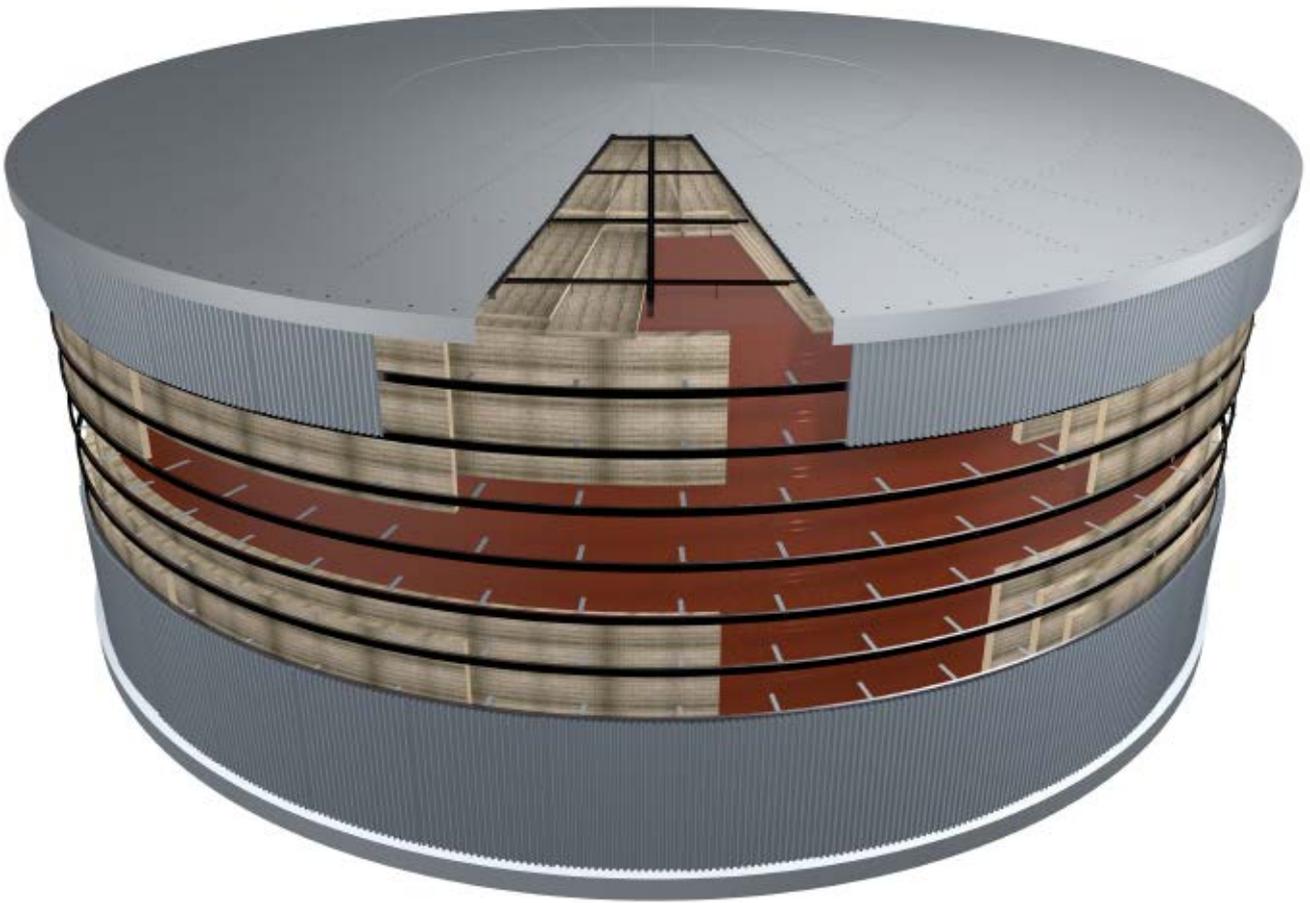


Figura 22. Tanque de almacenamiento. Detalle 2 (Mantas armadas)

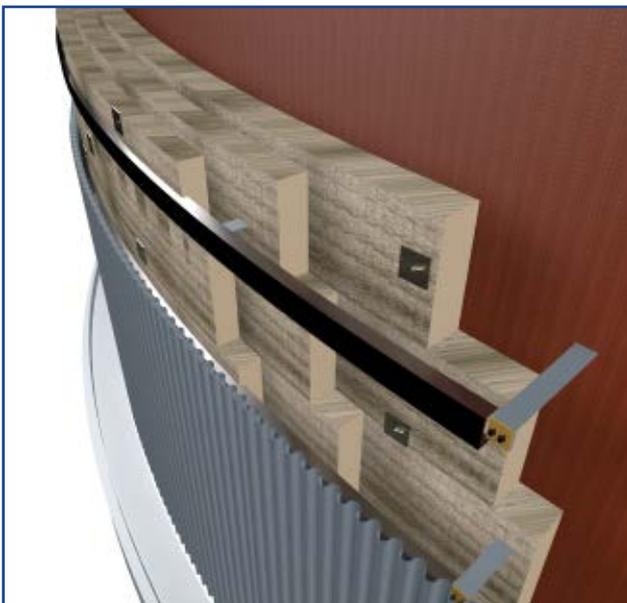


Figura 23. Tanque de almacenamiento. Detalle 2 (Mantas armadas)



Figura 24. Tanque de almacenamiento. (Paneles)

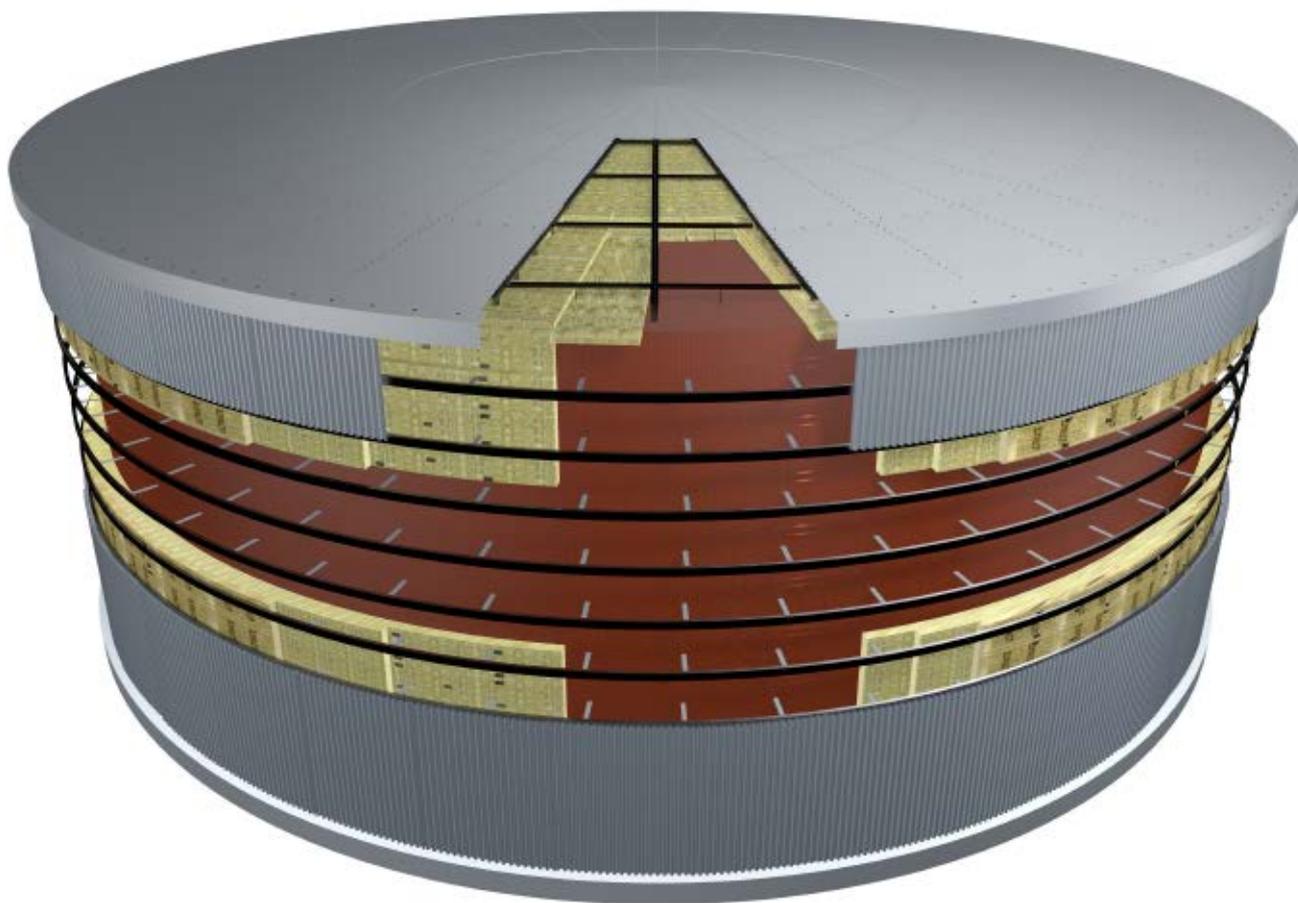


Figura 25. Tanque de almacenamiento. Detalle 1 (Paneles)

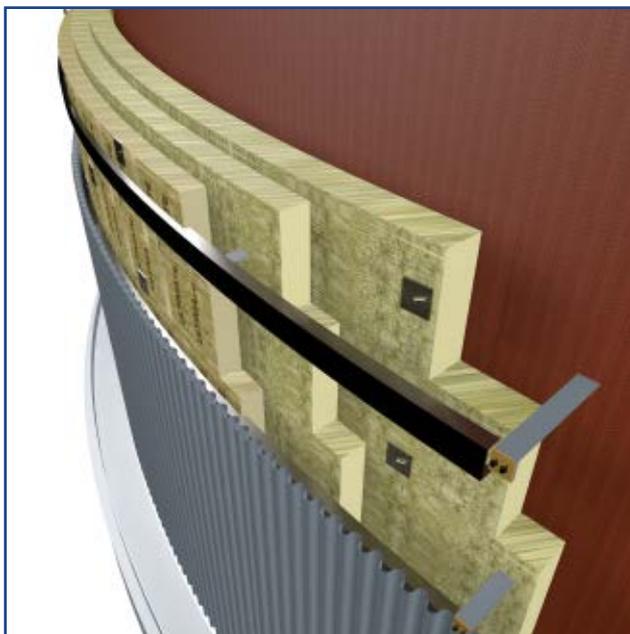
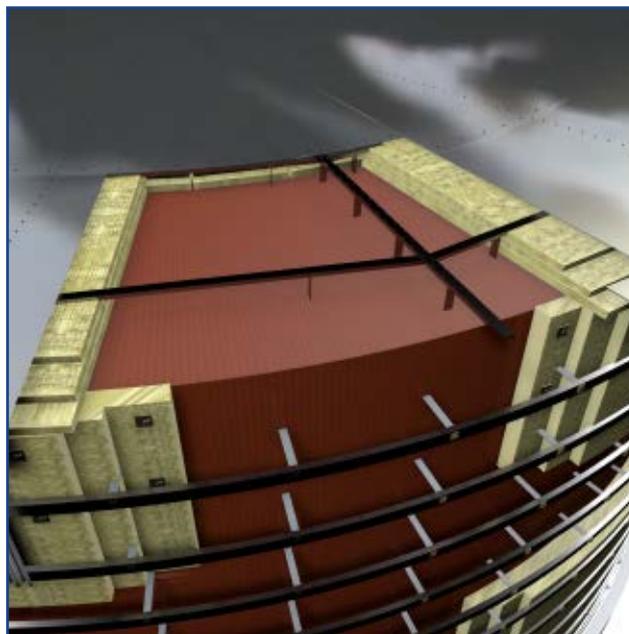


Figura 26. Tanque de almacenamiento. Detalle 2 (Paneles)



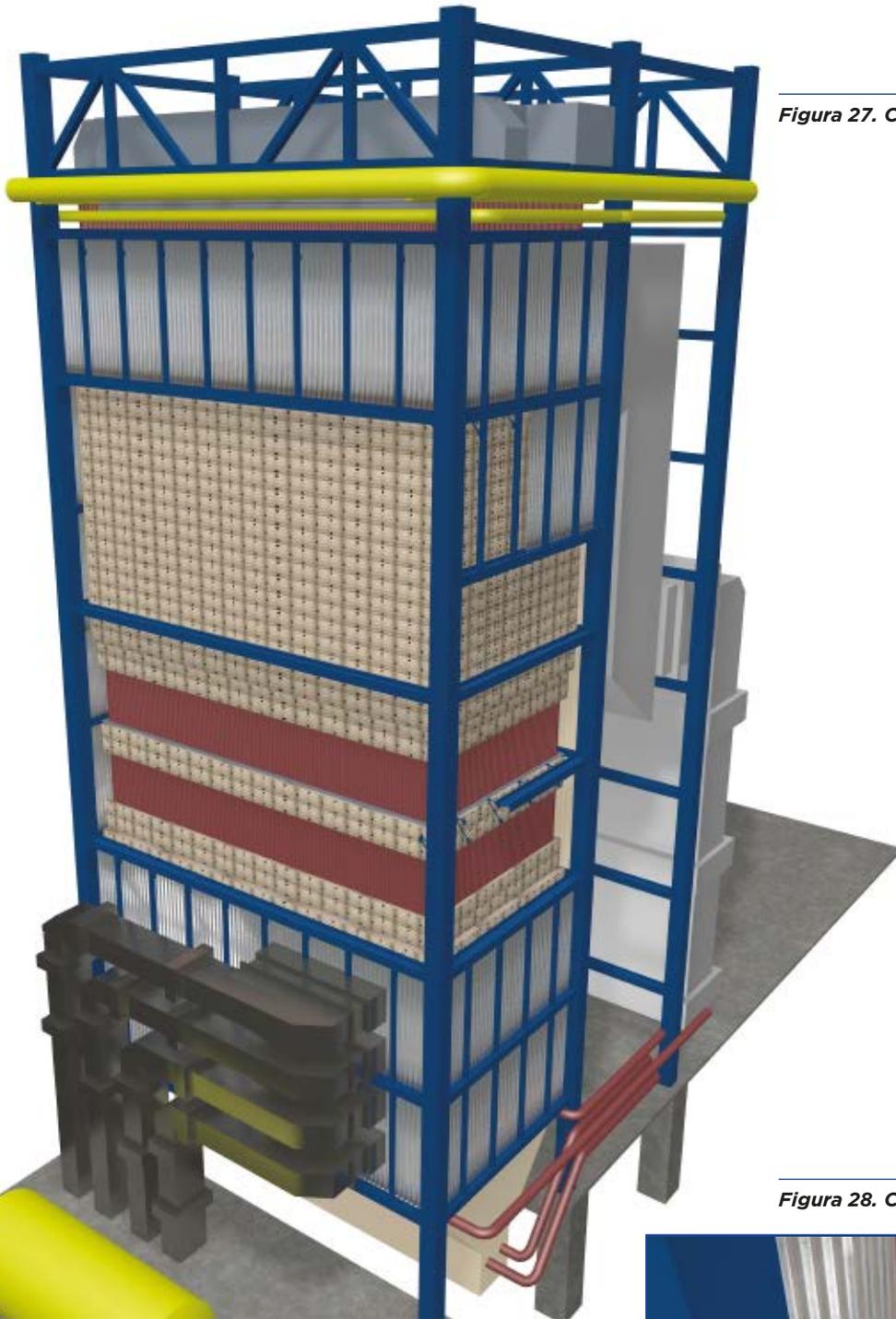


Figura 27. Caldera



Figura 28. Caldera (Detalle 1)

Figura 29. Conductos de gases de combustión

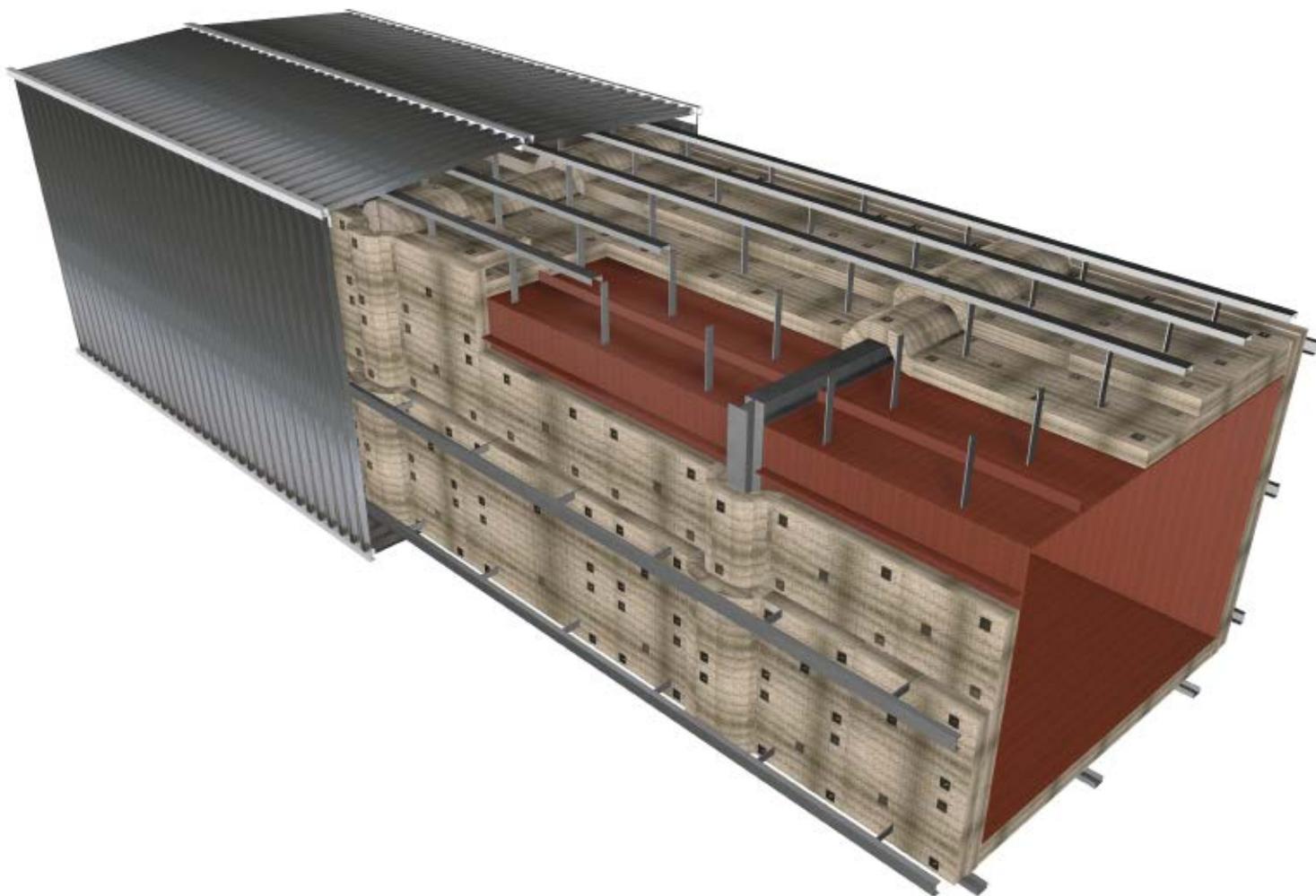


Figura 30. Conductos (Detalle 1)



Figura 31. Conductos (Detalle 2)

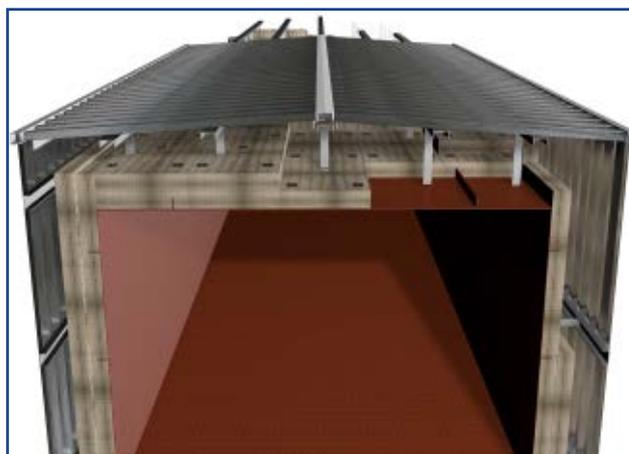
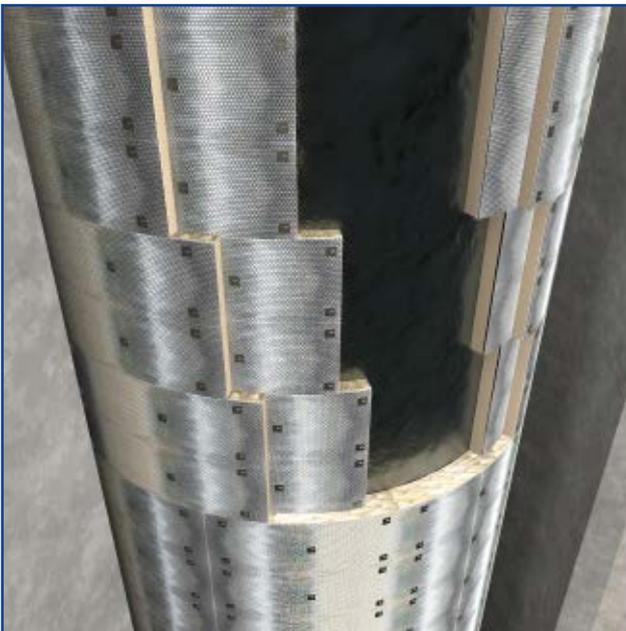


Figura 32. Chimenea de Extracción



Figura 33. Chimenea de Extracción (Detalle 1)



3.6. Plan de inspección de calidad

Es importante elaborar un plan de calidad de la instalación del aislamiento con los requisitos mínimos a cumplir por el contratista, y con la aprobación previa del cliente. Como mínimo, se incorporará un procedimiento de montaje, puntos de inspección y los certificados de calidad de los materiales utilizados. Para el control de calidad de la instalación y para garantizar la correcta instalación del aislamiento térmico al menos se deben utilizar los siguientes puntos de verificación y aceptación para tuberías y equipos.

Se presentan a continuación algunos ejemplos de criterios de aceptación y puntos de control.

3.6.1. Tubería

a) Anillos distanciadores

Instalación de distanciadores cuando corresponda. Altura ± 3 mm y ± 10 mm de separación.

b) Material aislante

- Tipo y espesor del aislamiento teórico. Verificación de dimensiones. Correspondencia con las especificaciones.
- Espesor final del aislamiento. Verificación de dimensiones. Espesor instalado = espesor especificado (0, +10 mm).
- Fijación de lazadas de alambre. Inspección visual. Máxima distancia 300 mm.

c) Protección metálica

- Tipo y espesor del material. Ejecución de bordones y solapes. Verificación de dimensiones. Según especificación
- Fijación con tornillos / remaches. Inspección visual.

d) Acabado general. Inspección visual. Sin daños o impactos

Criterio:

	PUNTOS DE VERIFICACIÓN	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Soporte del aislamiento	Posición de los distanciadores (altura y separación)	Según especificaciones
Material Aislante	Tipo y espesor de aislamiento teórico	Según especificaciones
	Espesor final de aislamiento	Grosor instalado = grosor especificado (0, +10 mm)
	El ajuste será a través de lazadas de alambre	Máxima distancia entre lazadas 300 mm
Protección metálica	Tipo y espesor de material. Ejecución de bordones y solapes.	Según especificaciones
	Fijación con tornillos/remaches	Aproximadamente cada 250 mm
Acabado final	Sin daños, golpes o impactos	

Todos estos criterios se registrarán en el correspondiente punto de control de registro. Como mínimo, se inspeccionarán cada tipo de sistema de aislamiento, cada diámetro de tubería para cada tipo de aislamiento y al menos el 40% de todo el aislamiento instalado. El siguiente ejemplo muestra un formato estándar de puntos de control de registro para tuberías.

ISOMETRICO/PLANO:		IDENTIFICACIÓN		CRITERIO DE ACEPTACIÓN	
PUNTO DE VERIFICACIÓN	TIPO DE VISUAL	PA/PE	FECHA	RESULTADO	REVISADO / OBSERVACIONES
Estado inicial de la tubería	Visual				
Posición de los distanciadores (altura y separación)	Dimensional				
Tipo y espesor de aislamiento teórico	Dimensional				
Fijación del aislamiento (lazado)	Visual				
Juntas a tope del aislamiento	Visual				
Tipo y espesor del material	Dimensional				
Fijación de la protección metálica con tornillos/remaches	Visual				
Inspección general	Visual				

OBSERVACIONES:	INSPECCION POR: NOMBRE:	INSPECCION POR: NOMBRE:
	Fecha:	Fecha:

3.6.2. Equipos

a) Distanciadores

Instalación de distanciadores cuando corresponda. Verificación de dimensiones. Altura ± 3 mm y ± 10 mm de separación. Distancia entre distanciadores (por ejemplo, cada 950 mm, dependiendo de especificación).

b) Material aislante

- Tipo y espesor del aislamiento teórico. Verificación de dimensiones. Corresponde a las especificaciones.
- Espesor final del aislamiento. Verificación de dimensiones. Espesor instalado = espesor especificado (0, +10 mm).
- Fijación de la manta armada, cosiendo la malla y adjuntando los espaciadores. Inspección visual. No existen espacios sin aislamiento.

c) Protección metálica

- Tipo y espesor del material. Ejecución de bordones y solapes. Verificación de dimensiones. Según especificación
- Fijación con tornillos / remaches. Inspección visual. Aprox. cada 300 mm.

d) Acabado general. Inspección visual. Sin daños, golpes o impactos

Criterio:

	PUNTOS DE VERIFICACIÓN	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Soporte del aislamiento	Colocación de distanciadores (altura y separación)	950mm +/- 10mm; según especificación.
Material Aislante	Tipo y espesor de aislamiento teórico	Según especificación.
	Espesor final de aislamiento	Espesor instalado = espesor especificado (0, +10mm)
	La sujeción de la manta, trenzando la malla y fijando en los distanciadores.	No hay espacios sin aislamiento.
Protección metálica	Tipo y espesor de material.	Según especificación.
	Fijación con tornillos/remaches	Aproximadamente cada 300 mm
Acabado final	Sin golpes, daños o impactos.	

Todos estos criterios serán registrados en el correspondiente punto de control de registro. Se inspeccionará el 100% del aislamiento térmico del equipo. El siguiente ejemplo muestra un formato estándar de puntos de control de registro para equipos.

ISOMETRICO/PLANO:		IDENTIFICACION			CRITERIO DE ACEPTACIÓN
PUNTO DE VERIFICACIÓN	TIPO DE VISUAL	PA/PE	FECHA	RESULTADO	REVISADO / OBSERVACIONES
Estado inicial de la tubería	Visual				
Posición de los distanciadores (altura y separación)	Dimensional				
Tipo y espesor de aislamiento teórico	Dimensional				
Sujeción de la manta, malla y distanciadores.	Visual				
Juntas a tope del aislamiento.	Visual				
Tipo y espesor del material.	Dimensional				
Fijación de la chapa metálica con tornillos/remaches	Visual				
Inspección general	Visual				

OBSERVACIONES:	INSPECCION POR: NOMBRE:	INSPECCION POR: NOMBRE:
	Fecha:	Fecha:

3.6.3. Supervisión de obras

Por parte de la supervisión de obras (empresa externa o usuario final) se pueden solicitar las pruebas que se consideren necesarias de acuerdo con las especificaciones del proyecto y los códigos, estándares y normas que consideren aplicables.

Se pueden pedir al contratista los certificados de materiales instalados para demostrar el cumplimiento de la especificación técnica. Todos los certificados de conformidad deben incluirse en la documentación de garantía de calidad. Previamente será necesario elaborar un plan de calidad de la instalación del aislamiento técnico, incluyendo procedimientos, criterios de aceptación, puntos de control, certificados de materiales u otra documentación que el cliente o usuario final considere necesario.



4. Corrosión bajo aislamiento (CUI)

4.1. Definiciones

4.1.1 Humedad

El agua puede estar en estado sólido (hielo), líquido o gaseoso. (vapor).

Debido al equilibrio termodinámico, siempre hay algo de vapor de agua en el aire. Es importante tomar en cuenta el nivel de humedad alrededor del sistema aislado al diseñar sistemas de aislamiento, tanto para las prestaciones del aislamiento como para evitar la corrosión (ver sección 4.3 "Corrosión bajo aislamiento").

4.1.2. Humedad absoluta y relativa

Cuando se habla del estado gaseoso del agua (es decir, agua-vapor), a menudo se hace referencia a dos valores principales: humedad absoluta y relativa.

La **humedad absoluta** es la medida numérica de la cantidad de vapor de agua o humedad en un determinado ambiente atmosférico, independientemente de la temperatura. Se expresa en gramos de humedad por metro cúbico. de aire (g/m^3).

La humedad absoluta es un factor vital que afecta al fenómeno de corrosión en un metal. La corrosión atmosférica es una reacción química que requiere agua para tener lugar. La humedad absoluta es directamente proporcional a la probabilidad y a la severidad de la corrosión.

La **humedad relativa** puede definirse como la relación de densidad de vapor de agua (masa por unidad de volumen) a la densidad del vapor de agua de saturación a una temperatura dada y generalmente se expresa en porcentaje. La humedad relativa del aire depende de la temperatura y la presión del sistema. La humedad relativa no nos dice cuánto vapor de agua hay en el aire, pero sí qué porcentaje de la densidad de vapor máxima se ha alcanzado.

La corrosión se acelera por la alta humedad relativa. La corrosión se desacelera significativamente cuando la humedad relativa es inferior al 50%. La humedad relativa solo es útil cuando se mide en superficie.

4.1.3. Transmisión de vapor de agua

La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) mide el paso del vapor de agua a través de una sustancia de un área unitaria dada y un tiempo unitario. Es importante controlar la tasa de transmisión de vapor, ya que al cambiar las temperaturas de trabajo se puede producir condensación y formación de humedad, que a su vez puede causar corrosión.

La tasa de transmisión de vapor de agua también se conoce como tasa de transmisión de vapor de humedad (MVTR). Controlar la humedad es importante por tanto en muchas industrias.

La tasa de transmisión de vapor de humedad es una unidad de medida clave utilizada para determinar el grado en que una capa de película puede resistir la infiltración de humedad. Esta es de particular importancia al seleccionar un recubrimiento o revestimiento para prevenir la corrosión en una superficie metálica.

Las normas (ISO 12572 y EN 12086) proporcionan métodos para determinar bajo condiciones isotérmicas la permeabilidad al vapor de agua, y las propiedades de transmisión de vapor de agua.

4.1.4 Condensación y punto de rocío

En la atmósfera normal, siempre hay algo de vapor de agua. dentro del aire (humedad atmosférica).

Mientras que la humedad absoluta en el aire depende principalmente de las condiciones del entorno (por ejemplo, se elevará en el baño después de tomar una ducha), la humedad relativa también dependerá de la temperatura y de la presión barométrica del aire.

Cuando la humedad relativa es igual al 100%, significa que el aire está saturado de vapor, y entonces no es posible agregar más vapor de agua entonces agua líquida irá apareciendo. En la atmósfera esto es lo que pasa en nubes o en niebla. En el suelo o en objetos, aparece condensación.

La exposición a la condensación se refiere cuando la superficie está casi constantemente expuesta a aire saturado, acompañado de repetida o continua condensación. La corrosión de superficies aumenta por una exposición continua de las superficies a ambientes con condensación.



El punto de rocío es la temperatura donde el aire ya no es capaz de retener el vapor de agua contenido dentro de él. A la temperatura del punto de rocío, el vapor de agua se condensa en agua líquida. En todo momento, la temperatura del punto de rocío es igual o menor que la temperatura ambiente.

Dado que la condensación se produce en el punto de rocío, el conocimiento de este elemento meteorológico ayuda en la selección de metales.

La corrosión en el punto de rocío es un daño que ocurre cuando el aire alcanza una temperatura a la cual velocidad de evaporación y condensación de su contenido de humedad son iguales a una presión constante.

4.2. Comportamiento de los productos de aislamiento

4.2.1 Prestaciones con aislamiento húmedo

Las prestaciones de los productos de aislamiento se declaran para productos en condiciones "secas", con una humedad relativa de alrededor del 50%.

¿Pero qué sucede cuando el aislamiento está en contacto (accidentalmente) con agua líquida?

La determinación de las prestaciones térmicas de un producto de aislamiento "húmedo" es complejo, porque implica que no solo existe transferencia de calor "simple" sino también flujo másico (agua en estado líquido y vapor dentro del aislamiento) y cambios de fase (lo que implica liberación de calor latente).

Dependiendo de las condiciones ambientales, la porosidad y la permeabilidad del material, la norma ISO 23993 da un factor de conversión establecido para las diferentes influencias para las prestaciones térmicas aplicable para equipos de construcción y para aplicaciones industriales.

Un parámetro importante son las propiedades higroscópicas de aislamiento.

Considerando las propiedades higroscópicas de las lanas minerales, el diseño de un sistema de aislamiento se realiza por tanto manteniendo todo el sistema lo más seco posible para evitar la corrosión bajo el aislamiento y mantener unas buenas prestaciones térmicas.

Pero observar este parámetro en el producto no es suficiente, ya que el agua puede entrar al sistema de aislamiento a través de la instalación en puntos débiles. Si hay humedad en el sistema de aislamiento, se deben encontrar y corregir las causas de esta humedad.

4.2.2. Entrada de agua

Hay muchas razones para que exista entrada de agua dentro de un sistema de aislamiento:

- El agua líquida puede provenir del agua de lluvia, inundación sistemas, agua de lavado, fugas en la instalación, etc.
- El agua líquida también puede provenir del vapor de agua que finalmente se condensa en el equipo aislado.

Para limitar la entrada de agua, se recomienda diseñar un sistema de aislamiento que sea tan resistente al agua como sea posible, mediante la instalación de un revestimiento de protección contra la intemperie, una barrera contra la humedad, sellado de áreas donde hay penetraciones como las zonas de soportes, conexiones, injertos, etc.).

Pero hay que tener en cuenta que, en la vida real, evitar la entrada de agua es casi imposible. Incluso con un producto hermético como vidrio celular, el agua puede encontrar un camino hacia los pequeños espacios entre las diferentes zonas aisladas (tuberías, calderas, válvulas, etc.). Tales cavidades de aire pueden ser grandes cuando el aislamiento no está bien ajustado a la geometría del equipo, o cuando se instala el trazo de calor.

Cuando el agua encuentra un camino en este espacio, porque hay un agujero o una grieta en el aislamiento (debido al envejecimiento o al desplazamiento del mismo), y debido a la hermeticidad del resto del aislamiento, se empeora ya que el agua infiltrada no puede salir fácilmente.

Además de la corrosión bajo el aislamiento, como expondremos en el próximo capítulo, la entrada de agua puede ser un problema crítico cuando se trata de temperaturas inferiores 0 °C (debido al proceso o debido a temperaturas exteriores cuando la instalación se detiene durante el invierno), ya que el agua se convertirá en hielo, aumentando su volumen en un 10%, y por lo tanto dañando el sistema de aislamiento.

Consejo de ISOVER: "Diseñar sistemas de aislamiento a prueba de humedad es importante, pero también es importante implementar soluciones para permitir que el agua salga para evitar su acumulación durante la vida útil de la instalación"

4.3. Corrosión bajo aislamiento (CUI)

4.3.1. ¿Qué es CUI?

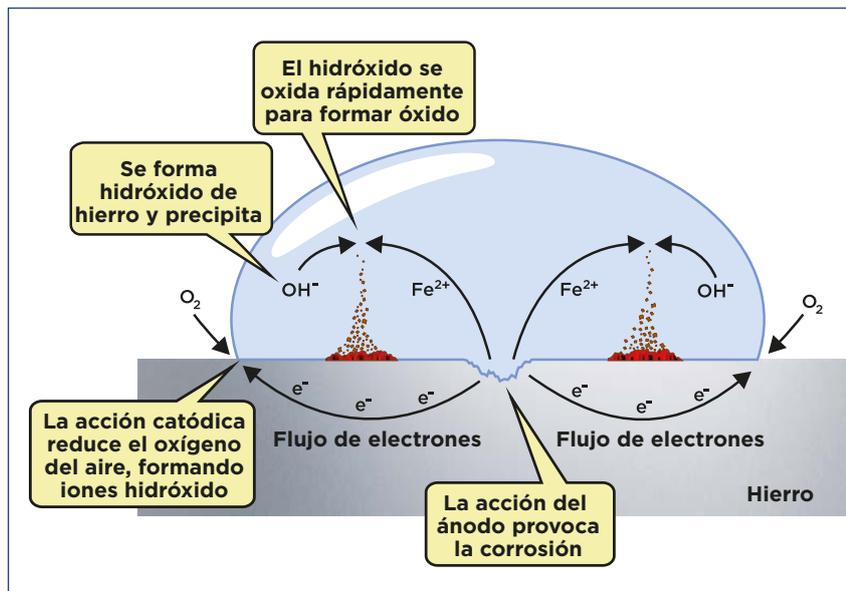
CUI es básicamente corrosión de la base metálica (tubería, equipo, chimenea, etc.) sobre el cual está instalado el aislamiento. Entonces cuando hablamos de CUI, lo primero que hablamos es de corrosión de metales.

Debido a que la corrosión es una reacción de oxidación, casi todos los metales pueden corroerse bajo ciertas circunstancias (el oro es uno de los pocos que no se corroe), pero algunos se comportan de manera diferente a los demás.

Por ejemplo, el aluminio es bastante resistente a la corrosión, porque forma una capa delgada de óxido muy rápidamente, lo que crea una barrera dura para evitar que el oxígeno entre para reaccionar con el resto de aluminio.

En trabajos de aislamiento la mayoría de los metales que están aislados están fabricados en acero, existiendo muchos tipos de acero algunos de los cuales se corromen más fácilmente que otros.

La acción electroquímica impulsada por la energía de oxidación produce el proceso de corrosión



El mecanismo común de corrosión del acero puede ser resumido de la siguiente manera.

Cuando el metal es hierro, el resultado es comúnmente llamado "óxido". El principal problema de "óxido" es que no es prueba de uso de agua u oxígeno (a diferencia del óxido de aluminio, por ejemplo). Entonces



la corrosión continuará a través del espesor del metal.

Todo acero al carbono y aleaciones de acero de baja calidad, están sujetas a este tipo de corrosión y el hecho de que se pueda esconder (debajo del revestimiento y del material de aislamiento podría conducir a situaciones muy peligrosas cuando la tubería o el tanque tuviera una fuga a través del daño producido por la corrosión.

Nota: incluso el acero inoxidable (acero austenítico) puede corroerse bajo circunstancias específicas!!!

En este caso, no hablamos de "óxido", pero sí de otro tipo de corrosión, llamado "Agrietamiento por corrosión bajo tensión" (ESCC). Es menos visible pero tan peligroso como el CUI en acero al carbono. ESCC generalmente aparece cuando el acero inoxidable se coloca bajo tensión térmica y / o mecánica (alta temperatura, presión), y cuando algunos de los productos químicos están presentes en la superficie (como el cloruro).

Ignorar el problema CUI podría conducir a situaciones donde la seguridad personal, el impacto ambiental y la pérdida de producción está en juego.

4.3.2. ¿Qué hacer en condiciones críticas?

Es casi imposible, a la larga, evitar la corrosión en el acero. Pero la tasa de corrosión, y su velocidad, depende de muchos parámetros ambientales.

Las situaciones críticas, donde la corrosión (CUI) aparecerá rápidamente, son las siguientes:

- Procesos con temperatura cíclica (con temperaturas regularmente por encima y por debajo de 100 °C, o con arranque y paro del proceso).
- Exposición del sistema aislado a malas condiciones climáticas, con fuertes lluvias.
- Clima de alta humedad (tropical, costero).
- Ambiente químicamente agresivo (niebla salina, alta humedad relativa, exposición a agentes de limpieza, etc.).

Cuando todos esos factores están presentes, la corrosión (CUI) podría causar problemas serios en menos de un año.

Para mitigar esos problemas, existen algunas soluciones. Se pueden implementar, combinar e instalar soluciones, una vez se haya hecho un análisis de riesgo de CUI del sistema que se vaya a aislar, con mayor mitigación cuanto mayor riesgo exista.

Consejo de ISOVER: *Lo importante es evitar fallos y roturas, manteniendo el enfoque sobre el sistema en conjunto, ya que no existe una "única solución milagrosa".*

4.3.3. Protección del metal.

Dado que CUI es básicamente la corrosión del metal que yace debajo del aislamiento, la primera solución para evitarlo es proteger este metal del agua líquida y/u oxígeno.

Esto se hace generalmente con pinturas protectoras contra la corrosión o recubrimientos.

La selección de esos recubrimientos se basará en:

- El servicio operativo máximo / mínimo temperatura del metal subyacente;
- La corrosividad de la atmósfera donde el sistema está instalado;
- El tipo de metal a recubrir (carbono, baja aleación, aceros austeníticos).

Se puede encontrar orientación sobre esos aspectos en el documento AGI Q151 "Protección contra la corrosión bajo aislamiento", que complementa la norma ISO 12944 "Pinturas y barnices. Protección contra la corrosión del acero en estructuras por sistemas de pintura de protección. Una guía similar también existe en el Manual CINI Parte 7.

Consejo de ISOVER: *incluso si la capa protectora del metal no es parte del trabajo del contratista de aislamiento, el contratista debe verificar si se ha realizado correctamente, e informar al propietario del proceso si se detectan riesgos.*

Al instalar el aislamiento y los soportes asociados o espaciadores si los hay, el contratista evitará dañar el revestimiento.

Algunas de las soluciones protectoras están basadas en aluminio. (Aluminio pulverizado térmico) o zinc. El contratista comprobará que el sistema de aislamiento (incluido soportes) es compatible con ellos (sin riesgos de corrosión química o galvánica, ni abrasión debido a los valores de dilatación diferencial).

4.3.4. Instalación del sistema de aislamiento.

El sistema de aislamiento siempre debe estar diseñado e instalado para minimizar el riesgo de entrada y acumulación de agua.

Pero dependiendo del análisis de riesgo de CUI (incluyendo consideración de la temperatura de funcionamiento, la restricción geométrica), las soluciones a implementar serían como por ejemplo:

- Se deben utilizar tapajuntas, discos de sellado y deflectores como parte del revestimiento exterior o cladding.
- Se instarán protectores o cubiertas para el agua por encima de los soportes o cuelgues de tuberías.

Una guía de buenas prácticas se pueden encontrar en el documento N °10 de FESI y en el Manual CINI Partes 1, 3 y 4.

Consejo de ISOVER: *nunca olvides que, a largo plazo, no se puede garantizar la ausencia de entrada de agua. En tales casos, la prevención de soluciones para evitar la acumulación de agua (como tapones de drenaje y agujeros) debe tenerse en cuenta además de planificar el mantenimiento de la instalación.*

Se puede considerar la instalación de una protección o revestimiento exterior no metálico, donde exista una complejidad en el equipo, o en ambientes químicos muy agresivos o para evitar la corrosión galvánica.

4.3.5. Mantenimiento

Todos los sistemas de aislamiento deben ser inspeccionados regularmente para comprobar daños en el revestimiento y por "puntos de debilidad" que eventualmente podría permitir la entrada de agua en el sistema de aislamiento. Se deben de registrar los resultados y fechas de las inspecciones de mantenimiento y control del CUI.

El revestimiento dañado en instalaciones exteriores debe ser cambiado de inmediato para evitar la entrada de agua en el sistema lo que reduciría las prestaciones térmicas del aislamiento e iniciaría la corrosión.

Las barreras de vapor se dañen deben repararse tan pronto como sea posible o de lo contrario entrará vapor de agua en el aislamiento a través de la zona dañada.

En zonas donde el revestimiento esté dañado, se debe quitar el aislamiento para permitir la inspección del sustrato o de la base para comprobar si existe corrosión.

Para reducir costes de mantenimiento y dentro del programa de inspección de riesgo de CUI, es necesario que existan zonas de aislamiento desmontable para detectar lo antes posible cualquier corrosión bajo el aislamiento.

Se pueden considerar e instalar ventanas o puntos de inspección en el revestimiento metálico exterior.

Otra opción es utilizar sistemas de detección de corrosión, de humedad y de acumulación de agua. Estos sistemas de detecciones tempranas podrían ayudar a gestionar mejor el riesgo CUI y al final reducir los costes de inspección y mantenimiento.



5. Control Ruido Industrial



1. Conceptos fundamentales168	3.4. Cerramientos acústicos 215
1.1. Acústica 168	3.5. Pantallas acústicas 218
1.2. Concepto de sonido 168	3.6. Silenciadores..... 220
1.3. Propiedades físicas del sonido..... 168	3.6.1. Definiciones..... 220
1.3.1. Velocidad de propagación..... 168	3.6.2. Tipos de silenciadores, selección y principios generales 221
1.3.2. Amplitud..... 168	3.6.3. Silenciadores de absorción..... 221
1.3.3. Frecuencia 168	3.6.4. Silenciadores reactivos 223
1.4. Otras magnitudes físicas 169	3.6.5. Silenciadores de descarga 223
1.4.1. Intensidad sonora..... 169	3.6.6. Cálculos..... 224
1.4.2. Potencia sonora 169	3.6.7. Ruido regenerado o ruido de flujo..... 226
1.4.3. Impedancia acústica..... 169	3.6.8. Pérdidas de presión..... 226
1.4.4. Escala de nivel sonoro 170	3.7. Control de vibraciones..... 227
1.4.5. Sonoridad y efecto enmascaramiento..... 171	3.7.1. Introducción..... 227
1.4.6. Ruido 171	3.7.2. Control de las frecuencias naturales.... 228
1.4.7. Sonido aéreo y sonido estructural..... 172	3.7.3. Amortiguamiento 228
1.4.8. Ondas transversales y longitudinales..... 172	3.7.4. Aislamiento de vibraciones. Transmisibilidad. 228
1.4.9. Escalas de ponderación. Curva A..... 172	3.7.5. Tipos de elementos antivibratorios 230
1.4.10. Nivel de banda de octava. 173	3.8. Ruido en tuberías..... 231
1.4.11. Combinación de niveles 174	3.9. Cabinas de protección personal 233
1.4.12. Curvas de valoración NR..... 174	3.10. Protecciones auditivas..... 234
1.4.13. Reflexión, absorción y transmisión del sonido 176	3.11. Control activo de ruido..... 236
1.4.14. Difracción y refracción..... 176	3.11.1. Antecedentes del control de ruido.... 236
1.4.15. Vibraciones 177	3.11.2. ¿Qué es el control activo de ruido?.. 237
2. Propagación sonora178	3.11.3. Sistemas activos de control de ruido en conductos 238
2.1. Tipos de fuentes sonoras..... 178	3.11.4. Aplicaciones de Sistemas activos de control de ruidos 241
2.2. Propagación del sonido en el exterior..... 178	4. Confort, seguridad y mediciones..... 242
2.2.1. Fuentes puntuales..... 178	4.1. Confort y aspectos de seguridad del ruido industrial..... 242
2.2.2. Fuentes lineales..... 180	4.2. Magnitudes acústicas para mediciones y métodos de verificación 243
2.2.3. Factores ambientales 181	4.2.1. Magnitudes acústicas de medición 243
2.2.4. Campo de radiación de una fuente..... 186	4.2.2. Métodos de verificación..... 246
2.3. Propagación sonora en recintos 190	5. Ejemplos de control de ruido... 248
2.3.1. Campo directo y campo reverberante..... 190	5.1. Tratamientos absorbentes..... 248
2.3.2. Coeficientes de absorción..... 191	5.2. Control de ruido en conductos 251
2.3.3. Reverberación 192	5.3. Silenciadores..... 254
2.3.4. Acondicionamiento acústico 196	5.4. Barreras acústicas..... 256
2.3.5. Materiales absorbentes sonoros 198	5.5. Cerramientos acústicos 258
2.3.6. Propiedades acústicas de las Lanas Minerales 200	5.6. Control de ruido en tuberías 260
2.3.7. Aislamiento acústico..... 202	
3. Control de ruido208	
3.1. Principios de control de ruido 208	
3.1.1. Control de ruido en la fuente 209	
3.1.2. Control de ruido en el camino de propagación..... 211	
3.1.3. Control de ruido en el receptor 211	
3.2. Tratamientos absorbentes..... 212	
3.3. Ruido en conductos..... 214	

Control ruido industrial

1. Conceptos fundamentales

1.1. Acústica

La acústica es la ciencia que estudia los diversos aspectos relativos al sonido, particularmente los fenómenos de generación, propagación y recepción de las ondas sonoras en diversos medios, así como su transducción, su percepción y sus variadas aplicaciones tecnológicas.

La acústica tiene un carácter fuertemente multidisciplinario, abarcando cuestiones que van desde la física pura hasta la biología y las ciencias sociales.

1.2. Concepto de sonido

El sonido puede describirse como una perturbación que se propaga a través de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) con una velocidad determinada que es característica del medio en que se propaga.

En la atmósfera esta perturbación se manifiesta en forma de pequeñas fluctuaciones periódicas de presión por encima y por debajo de la presión atmosférica estática. Una vez vista la definición física del sonido, podemos definir también el sonido como la sensación auditiva que genera esta perturbación física, y aquí se encuentra el principal motivo por el que debemos estudiar estas perturbaciones, la especie humana al igual que otras muchas especies animales dispone de un sentido muy desarrollado que reacciona a estas perturbaciones físicas.

1.3. Propiedades físicas del sonido

Las propiedades físicas con las que podemos caracterizar el sonido vienen dadas entre otras principalmente por la velocidad de propagación, la amplitud y la frecuencia.

1.3.1. Velocidad de propagación

La velocidad del sonido es la velocidad a la que se propagan las ondas sonoras en un medio elástico. Esta velocidad depende de la masa y la elasticidad del medio donde se propagan. En el aire, el sonido alcanza una velocidad de 340 m/s, a una temperatura de 20 °C y 1 atm de presión.

1.3.2. Amplitud

La amplitud de la presión sonora se define como la diferencia en un determinado punto espacial entre la presión instantánea y la presión atmosférica estática.

Este valor físico determina una sensación subjetiva que asocia una mayor o menor intensidad del sonido.

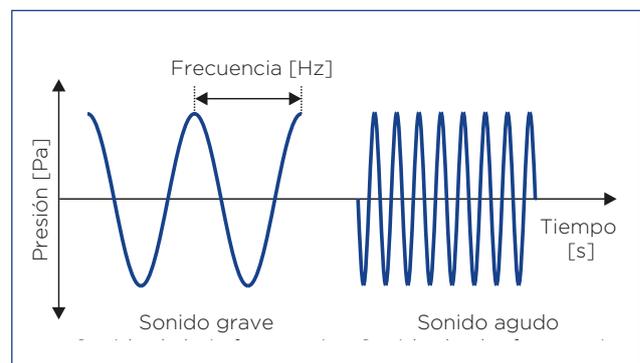
1.3.3. Frecuencia

La frecuencia de un sonido es el número de fluctuaciones por segundo de la presión del aire expresada en hercios (Hz). Este valor físico determina una sensación subjetiva que asocia al sonido un tono grave o agudo. Cuanto más baja sea la frecuencia más grave nos parecerá el sonido, y mientras más alta sea esta frecuencia más agudo nos parecerá el sonido.

Existe otra forma de caracterizar esta magnitud física y es mediante el periodo del sonido T . Este valor es la inversa de la frecuencia $f=1/T$, es decir que cuanto mayor es la frecuencia menor es el periodo, mientras que cuanto menor es la frecuencia mayor es el periodo. Entre la frecuencia de la onda f y su velocidad de propagación c existe la relación:

$$c = \lambda f \quad c = \lambda/T$$

donde λ es la longitud de onda o espacio recorrido por la onda en un ciclo completo.



1.4. Otras magnitudes físicas

Es importante conocer otras magnitudes físicas relacionadas con el sonido como son la intensidad sonora, la presión sonora, la impedancia acústica, así como otros parámetros o magnitudes de uso cotidiano.

1.4.1. Intensidad sonora

Las dos sensaciones fundamentales que nos da el oído, como hemos visto, son la frecuencia y la intensidad. La intensidad es una magnitud, en parte, subjetiva. Está relacionada con la presión sonora, que es objetivamente medible; sin embargo, dos sonidos de igual presión sonora y de distinta frecuencia no producen la misma sensación de intensidad. Se define como la energía por unidad de superficie y se mide en W/m^2 . Para que el oído comience a percibir un sonido, la presión acústica debe ser, al menos, de $20 \mu Pa$. Esto es lo que se denomina Umbral Auditivo. En la escala de intensidades, el umbral auditivo es $10^{-12} W/m^2$ y el umbral doloroso es $25 W/m^2$. Para ver cómo percibe nuestro oído, nos remitimos a la ley de Weber-Fechner: «Nuestras impresiones sonoras varían según una progresión aritmética, cuando las excitaciones físicas que las causan varían según una progresión geométrica». Es decir, si la excitación varía de 10 a 100, nuestra impresión sonora varía de 1 a 2. Para simplificar los cálculos y por lo dicho en el párrafo anterior, se recurre a un proceso matemático donde representamos las medidas acústicas en escala logarítmica. La forma de establecer la medida del nivel sonoro producido por una presión sonora P , se realiza mediante la fórmula:

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Siendo P la presión sonora producida de Pa .
 $P_0 = 20 \mu Pa$, presión sonora del umbral auditivo.
 L_p = Nivel de presión sonora en dB.

Se observa que la unidad dB es adimensional, y no tiene sentido físico. Por otra parte, como las intensidades sonoras son proporcionales al cuadrado de las presiones, la fórmula anterior puede escribirse:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Siendo I la intensidad sonora producida en W/m^2 .
 $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ la intensidad sonora del umbral auditivo.
 L_I = Nivel de intensidad sonora en dB.

1.4.2. Potencia sonora

La potencia sonora de una fuente se expresa en vatios. Es más cómodo expresar la potencia sonora en escala logarítmica, y nos daría por tanto el nivel de potencia sonora. El nivel de potencia sonora de una fuente se expresa mediante la expresión:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

Siendo W la potencia sonora de la fuente en vatios
 $W_0 = 10^{-12} W$ la potencia de referencia en vatios
 L_w = Nivel de potencia sonora en dB

1.4.3. Impedancia acústica

Cada medio, sólido, líquido o gaseoso, ofrece una facilidad más o menos grande para la propagación del sonido. Por analogía con la corriente eléctrica, se dice que el medio posee una impedancia acústica (Z). La impedancia se define como el cociente entre la presión acústica (P) y la velocidad propia del movimiento vibratorio definida antes como velocidad del sonido (v). Es decir:

$$Z = P/v$$

que para el caso de ondas planas se puede expresar también por:

$$Z = \rho c$$

siendo ρ la masa volumétrica (densidad), y c la velocidad de propagación. Se mide en Ohmios Acústicos, $g/(s \cdot cm^2)$, o en Rayls, $(Pa \cdot s)/m$.

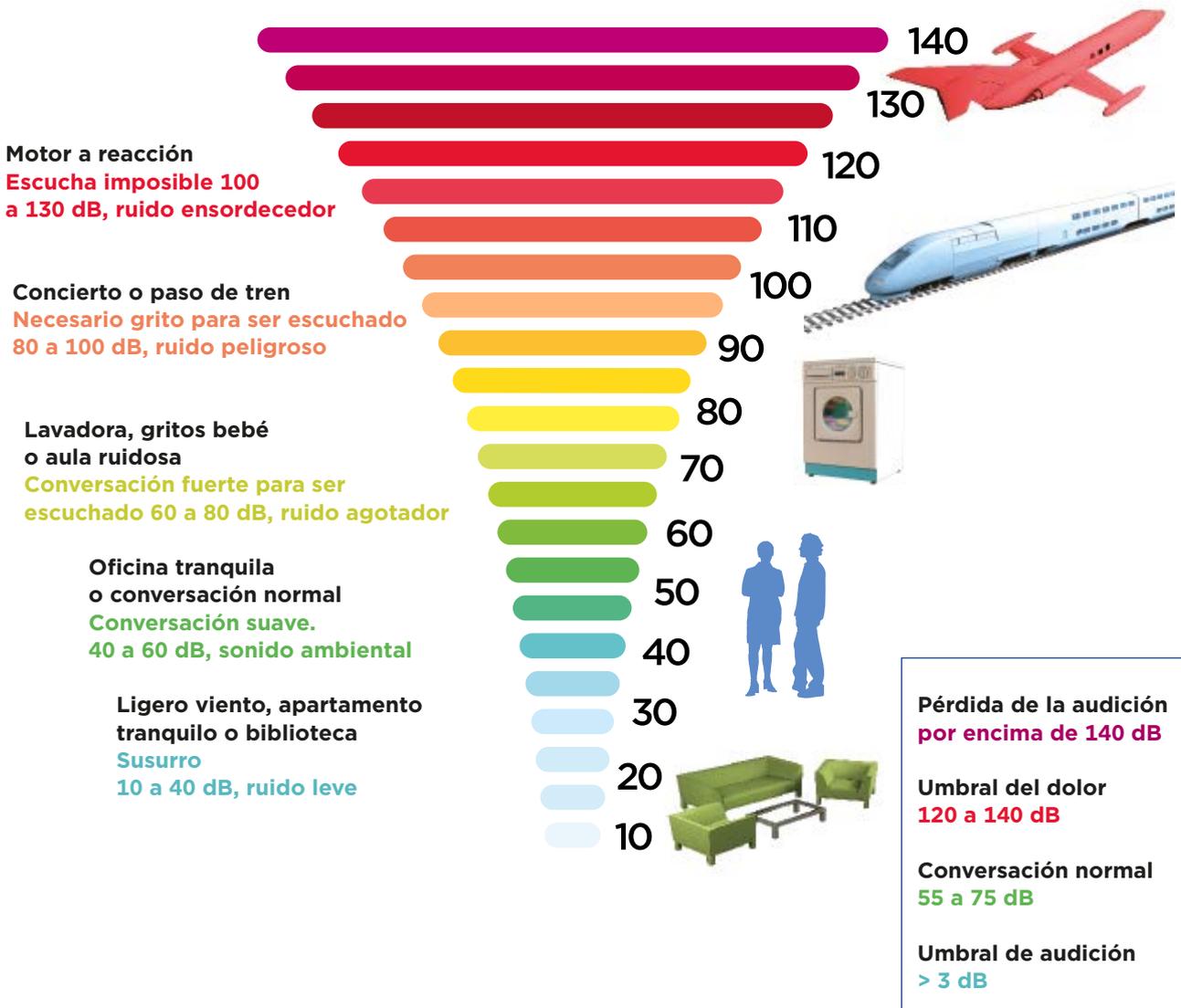
1.4.4. Escala de nivel sonoro

Las fuentes sonoras de gran intensidad generan con frecuencia un sonido que se encuentra en la zona de riesgo del oído humano ($L_r > 80 - 85 \text{ dB(A)}$).

Los valores límite del rango auditivo humano son de aproximadamente $0,00001 \text{ Pa}$ y 100 Pa ($10 \mu\text{Pa}$ y 100 Pa), lo que equivale a 7 órdenes de magnitud de diferencia entre ambos umbrales. La sensación de audición no aumenta con la presión sonora, sino con la intensidad del sonido, que a su vez es proporcional a la segunda potencia de la presión sonora. Si uno decidiera describir un suceso sonoro de una manera adecuada para el oído humano con la ayuda del valor de medición más fácilmente disponible, esto conduciría a una escala que abarcaría 14 órdenes de magnitud, un procedimiento muy poco útil para fines prácticos. Un procedimiento diferente, que también se utiliza en otras áreas de ingeniería, hace más viable el trabajo

con presiones sonoras: se divide el valor buscado (P_2 a través del valor de referencia en el extremo inferior de la escala (P_{20} y encuentra el décimo logaritmo de este valor de referencia).

Tales relaciones energéticas logarítmicas se identifican con las letras Bel (en honor a Alexander Graham Bell, el inventor del teléfono electromagnético). Así, el rango queda reducido de 14 órdenes de magnitud a una escala entre 0 y 14 Bel, sin embargo, para la aplicación práctica es una escala demasiado estrecha. Por lo tanto, la décima parte de la unidad Bel, el decibelio (dB), se toma como valor de medida y las relaciones de energía logarítmica obtenidas mediante el procedimiento descrito se denominan nivel L. El decibelio (símbolo: dB) es una unidad logarítmica que se utiliza para expresar la relación de un valor de una propiedad física con respecto a otro, y que puede utilizarse para expresar un cambio en el valor o un valor absoluto.



Rango Auditivo Humano: De 20 Hz a 20.000 Hz

El rango de audición de un ser humano joven y sano oscila entre 16 Hz (límite inferior de audibilidad) y 20.000 Hz (límite superior de audibilidad; para una persona de 60 años, 5.000 Hz). Esto supone un rango de 10 octavas. Los rangos de importancia para nosotros son el rango para la acústica en la edificación de 50 Hz a 5.000 Hz y el rango para la acústica técnica de 25 Hz a 10.000 Hz. El rango audible está limitado para presiones sonoras bajas a través del umbral de audición. Y para presiones sonoras altas a través del umbral de dolor. La sensibilidad del oído humano en el umbral de la audibilidad va más allá del reconocimiento del propio sonido del organismo (latido del corazón, respiración).



Por debajo del rango humano audible se encuentra el área de infrasonido. Como aplicación práctica, el infrasonido se utiliza como soporte para vibraciones, sonido transmitido por estructuras, análisis de vibraciones en edificios, ondas sísmicas, etc. Por encima del rango humano audible, tenemos los ultrasonidos.

Por otro lado, los ultrasonidos se utilizan en la limpieza, desgasificación, dispersión, emulsión, control de la polimerización, tratamiento del sonido por ultrasonidos (taladrado, corte), diagnóstico por ultrasonidos (embarazo) de ensayos no destructivos de materiales, pulverización de cálculos urinarios, protección contra robo por modelos acústicos, etc.

1.4.5. Sonoridad y efecto enmascaramiento

El oído humano no es igual de sensible a todas las frecuencias. Fletcher y Munson estudiaron la variación de la sensibilidad del oído con la presión sonora (o, lo que es lo mismo, con el nivel acústico) y resumieron su estudio en unas curvas que dan esta variación de sensibilidad en función de la frecuencia.

La sensibilidad auditiva es máxima para 1kHz, es algo menor para frecuencias mayores, y disminuye mucho para bajas frecuencias. Este efecto de sensibilidad depende de las personas y de la edad. La agudeza auditiva disminuye con la edad para frecuencias superiores a los 5kHz.

La sensibilidad del oído humano para tonos puros no es igual en el caso de sonidos y ruidos compuestos de varios tonos. Esto es lo que se conoce como «efecto de enmascaramiento». Este fenómeno tiene mucha importancia en la vida cotidiana, y su efecto puede ser ventajoso o perturbador. Por ejemplo, a veces en una casa no se oyen los ruidos de la conversación o de la radio de los vecinos, y no es debido a que los muros o forjados reduzcan tanto los ruidos como para que queden por debajo del umbral auditivo; sino que existe un ruido «enmascarante» que puede ser un ruido de tráfico o de alguna actividad desplegada en la casa; cuando estos «ruidos de fondo» desaparecen, por ejemplo, por la noche, se perciben los ruidos perturbadores que antes eran inaudibles.

1.4.6. Ruido

Ruido es un sonido inarticulado o confuso que suele causar una sensación auditiva desagradable. El ruido, por sus efectos fisiológicos, puede ser una fuente de molestia. La aparición repentina de un ruido inhabitual lleva consigo una modificación de la actividad fisiológica: crecimiento del ritmo cardíaco, modificación del ritmo respiratorio, variación de la presión arterial, ...

Desgraciadamente, la perturbación de un ruido que se debe considerar como molesto no está influenciada solamente por las leyes fisiológicas de la sensibilidad sonora, sino también por la disposición psicológica, subjetiva y muy variable con el tiempo de cada persona en particular.

1.4.7. Sonido aéreo y sonido estructural

Las vibraciones de medios sólidos, líquidos o gaseosos, que son causadas por fuerzas que cambian con el tiempo, o por movimientos acelerados, se denominan sonido. Dependiendo del carácter del medio, se puede distinguir entre el sonido aéreo, el sonido estructural y el sonido acuático.

El término **"sonido estructural"** se utiliza para las vibraciones sonoras en cuerpos sólidos. Existen ondas longitudinales y de flexión, transversales, de torsión, cuasi-longitudinales y de Rayleigh (ondas superficiales). En la acústica de edificios y en la acústica técnica, el sonido transmitido por la estructura tiene una gran importancia para el sonido aéreo como causa y como fase intermedia.

El término **"sonido aéreo"** se utiliza para las vibraciones sonoras en el aire y son ondas longitudinales.

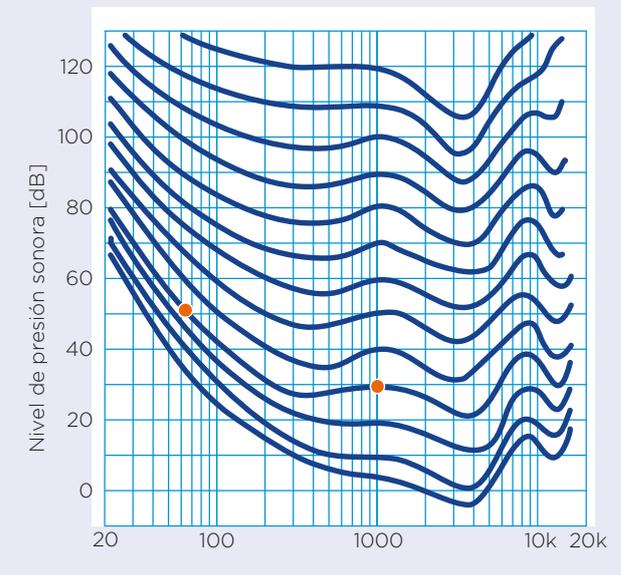
1.4.8. Ondas transversales y longitudinales

Las ondas longitudinales son aquellas en las que el desplazamiento del fluido se produce en la misma dirección a la de propagación de la onda. Las ondas longitudinales mecánicas también se denominan ondas de compresión o de presión, porque producen compresión y rarefacción al viajar a través de un medio, y ondas de presión, porque producen aumentos y disminuciones de presión. El otro tipo principal de onda es la onda transversal, en la que los desplazamientos del medio son perpendiculares a la dirección de propagación. Algunas ondas transversales son mecánicas, lo que significa que la onda necesita un medio para viajar a través de ella. Las ondas mecánicas transversales también se denominan "ondas de cizallamiento".

1.4.9. Escalas de ponderación. Curva A

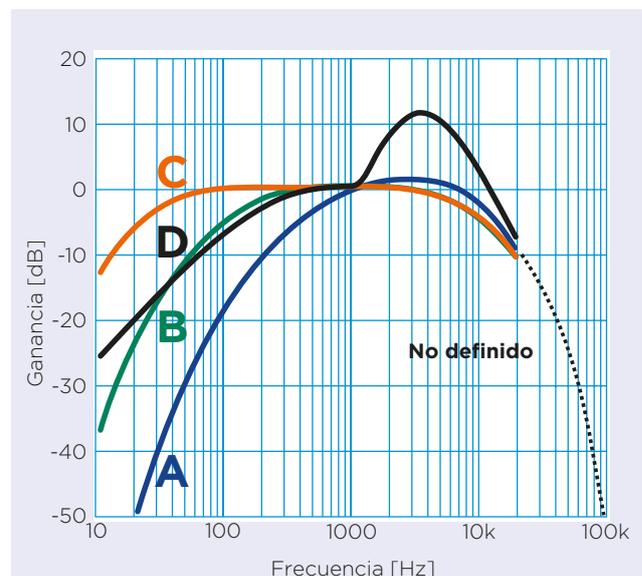
Las escalas de ponderación permiten estimar el comportamiento del oído en función de las características del ruido al que esté expuesto, ya que dependiendo del nivel de presión sonora y su espectro frecuencial, éste puede atenuarlo o amplificarlo. Las curvas de igual sonoridad de Fletcher y Munson estiman la relación correspondiente entre la frecuencia y la intensidad (en dB), de tal modo que cualquier punto de la curva tiene una misma sensación sonora. A continuación, se muestra un ejemplo de interpretación de las mismas donde un nivel de presión sonora de 30 dB a 1.000 Hz, equivale a 50 dB a una frecuencia de 60 Hz.

Curvas Fletcher.Munson de igual sonoridad



A partir de las curvas de igual sonoridad, se establecieron las escalas de ponderación "A" y "C" que se emplean para aproximar la respuesta de los instrumentos de medición a las características de atenuación o amplificación del oído humano, ante los distintos niveles de presión sonora. La normativa establece que se aplique:

- La escala de ponderación "A" para el nivel de presión acústica continuo equivalente.
- La escala de ponderación "C" para el nivel de pico.



1.4.10. Nivel de tercios de octava

Para conocer un ruido es importante su distribución en frecuencias. Normalmente se divide el rango de frecuencias audible en bandas de una octava de anchura. Una banda de octava es un intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya razón de frecuencias es 2 (ej.: desde 707 Hz hasta 1414 Hz). Las frecuencias

centrales de octava han sido estandarizadas mediante acuerdo internacional. Cuando es necesario conocer con más detalles el análisis de las bandas de octava, se utiliza un análisis de bandas en tercio de octava, que supone en dividir cada banda de octava en tres intervalos. Una octava es una colección de frecuencias (1/1, 1/3, 1/12, 1/24).

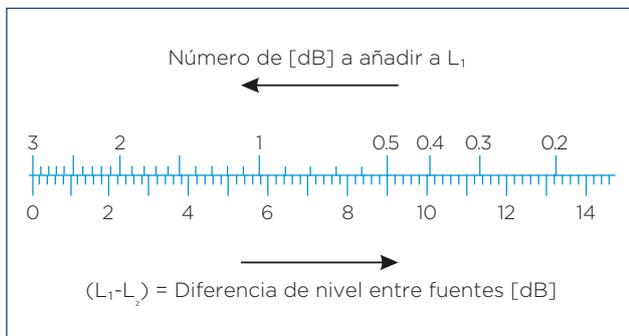
Bandas de octava				Bandas de tercio de octava			
f₁	f_m	f₂	Curva A	f₁	f_m	f₂	Curva A
Hz	Hz	Hz	dB	Hz	Hz	Hz	dB
11	16	22	-56.7	11.0 14.1 17.8	12.5 16.0 20.0	14.0 17.8 22.4	-63.4 -56.7 -50.5
22	31.5	44	-39.4	22.4 28.2 35.5	25.0 31.5 40.0	28.2 35.5 44.7	-44.7 -39.4 -34.6
44	63	88	-26.2	44.7 56.2 70.7	50.0 63.0 80.0	56.2 70.7 89.1	-30.2 -26.2 -22.5
88	125	177	-16.1	89.1 112.0 141.0	100.0 125.0 160.0	112.0 141.0 178.0	-19.1 -16.1 -13.4
177	250	355	-8.6	178.0 224.0 282.0	200.0 250.0 315.0	224.0 282.0 355.0	-10.9 -8.6 -6.6
355	500	710	-3.2	355.0 447.0 562.0	400.0 500.0 630.0	447.0 562.0 708.0	-4.8 -3.2 -1.9
710	1,000	1,420	0	708.0 891.0 1,122.0	800.0 1,000.0 1,250.0	891.0 1,122.0 1,413.0	-0.8 0 +0.6
1,420	2,000	2,840	+1.2	1,413.0 1,778.0 2,239.0	1,600.0 2,000.0 2,500.0	1,778.0 2,239.0 2,818.0	+1.0 +1.2 +1.3
2,840	4,000	5,680	+1.0	2,818.0 3,548.0 4,467.0	3,150.0 4,000.0 5,000.0	3,548.0 4,467.0 5,623.0	+1.2 +1.0 +0.5
5,680	8,000	11,360	-1.1	5,623.0 7,079.0 8,913.0	6,300.0 8,000.0 10,000.0	7,079.0 8,913.0 11,220.0	-0.1 -1.1 -2.5
11,360	16,000	22,720	-6.6	11,220.0 14,130.0 17,780.0	12,500.0 16,000.0 20,000.0	14,130.0 17,780.0 22,390.0	-4.3 -6.6 -9.3

1.4.11. Combinación de niveles

Muchas veces es necesario combinar niveles, como por ejemplo para el cálculo del nivel sonoro resultante de varias fuentes sonoras, y tener en cuenta que la suma de niveles no es la suma de los niveles individuales, sino que es una suma logarítmica. La fórmula general para sumar decibelios es:

$$dB_T = 10 \log \sum 10^{\frac{dB_i}{10}}$$

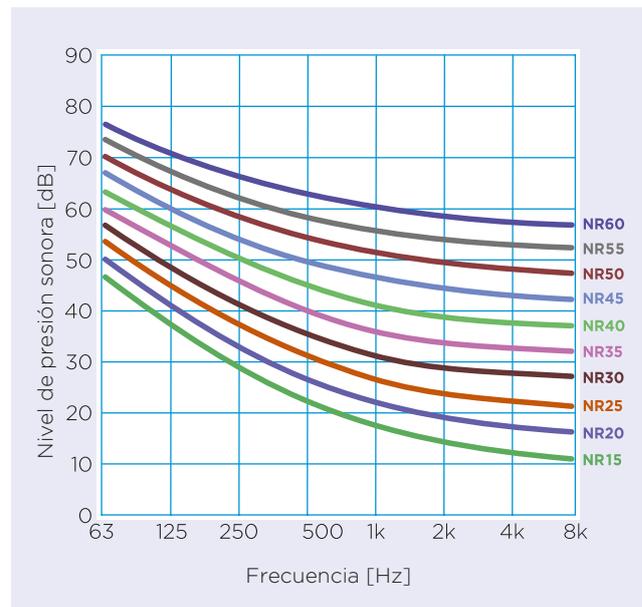
Existen gráficas para combinar niveles sonoros fáciles de aplicar, tal y como se muestra a continuación:



Ejemplo: Suma de $L_1=87\text{dB}$ y $L_2=80\text{dB}$. En la parte derecha del gráfico se busca $L_1-L_2=7\text{dB}$, y se determina $A=0,8\text{dB}$ para añadir a L_1 (el nivel mayor), obteniendo que $L_1+L_2=87,8\text{ dB}$.

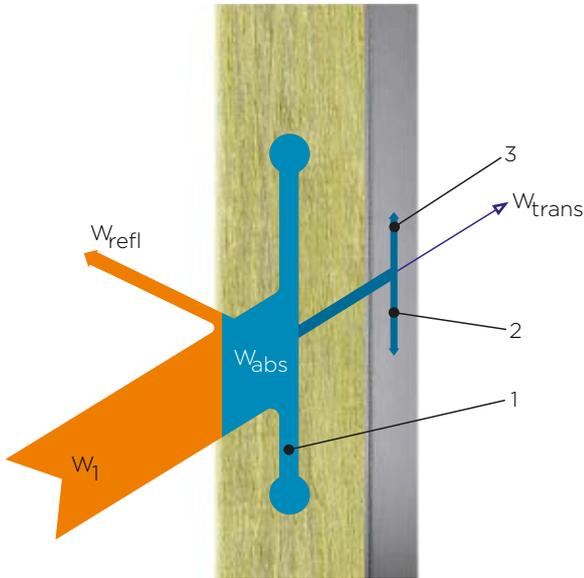
1.4.12. Curvas de valoración NR

En Europa para clasificar los niveles de ruido se utilizan las curvas de valoración NR (Noise rating curves). Estas curvas permiten asignar al espectro en frecuencias de un ruido, medido en bandas de octava, un solo número NR (ISO R-1996), y que corresponde a la curva que queda por encima de los valores dichos niveles de ruido en cada banda.



NR	Niveles de presión sonora en bandas de octava (dB)								
	Frecuencias centrales (Hz)								
	31.5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
0	55.4	35.5	22.0	12.0	4.8	0.0	-3.5	-6.1	-8.0
5	58.8	39.4	26.3	16.6	9.7	5.0	1.6	-1.0	-2.8
10	62.2	43.4	30.7	21.3	14.5	10.0	6.6	4.2	2.3
15	65.6	47.3	35.0	25.9	19.4	15.0	11.7	9.3	7.4
20	69.0	51.3	39.4	30.6	24.3	20.0	16.8	14.4	12.6
25	72.4	55.2	43.7	35.2	29.2	25.0	21.9	19.5	17.7
30	75.8	59.2	48.1	39.9	34.0	30.0	26.9	24.7	22.9
35	79.2	63.1	52.4	44.5	38.9	35.0	32.0	29.8	28.0
40	82.6	67.1	56.8	49.2	43.8	40.0	37.1	34.9	33.2
45	86.0	71.0	61.1	53.6	48.6	45.0	42.2	40.0	38.3
50	92.9	75.0	65.5	58.5	53.5	50.0	47.2	45.2	43.5
55	89.4	78.9	69.8	63.1	58.4	55.0	52.3	50.3	48.6
60	96.6	82.9	74.2	67.8	63.2	60.0	57.4	55.4	53.8
65	99.7	86.8	78.5	72.4	68.1	65.0	62.5	60.5	58.9
70	103.1	90.8	82.9	77.1	73.0	70.0	67.5	65.7	64.1
75	106.5	94.7	87.2	81.7	77.9	75.0	72.6	70.8	69.2
80	109.9	98.7	91.6	86.4	82.7	80.0	77.7	75.9	74.4
85	113.3	102.6	95.9	91.0	87.6	85.0	82.8	81.0	79.5
90	116.7	106.6	100.3	95.7	92.5	90.0	87.8	86.2	84.7
95	120.1	110.5	104.6	100.3	97.3	95.0	92.9	91.3	89.8
100	123.5	114.5	109.0	105.0	102.2	100.0	98.0	96.4	95.0
105	126.9	118.4	113.3	109.6	107.1	105.0	103.1	101.5	100.1
110	130.3	122.4	117.7	114.3	111.9	110.0	108.1	106.7	105.3
115	133.7	126.3	122.0	118.9	116.8	115.0	113.2	111.8	110.4
120	137.1	130.3	126.4	123.6	121.7	120.0	118.3	116.9	115.6
125	140.5	134.2	130.7	128.2	126.6	125.0	123.4	122.0	120.7
130	143.9	138.2	135.1	132.9	131.4	130.0	128.4	127.2	125.9

1.4.13. Reflexión, absorción y transmisión del sonido



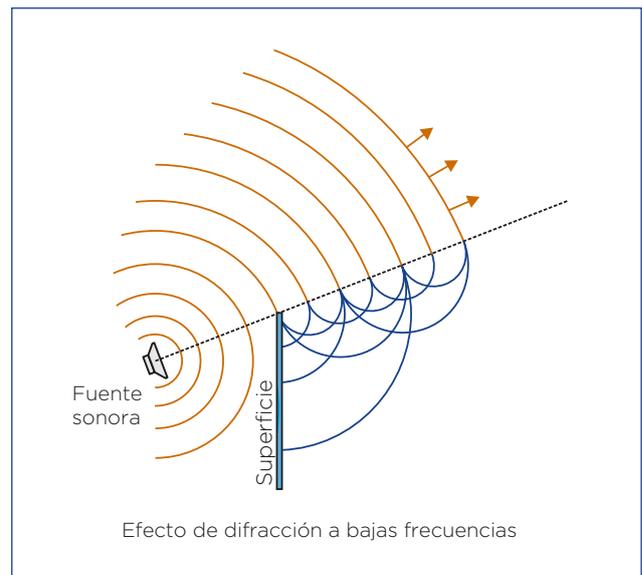
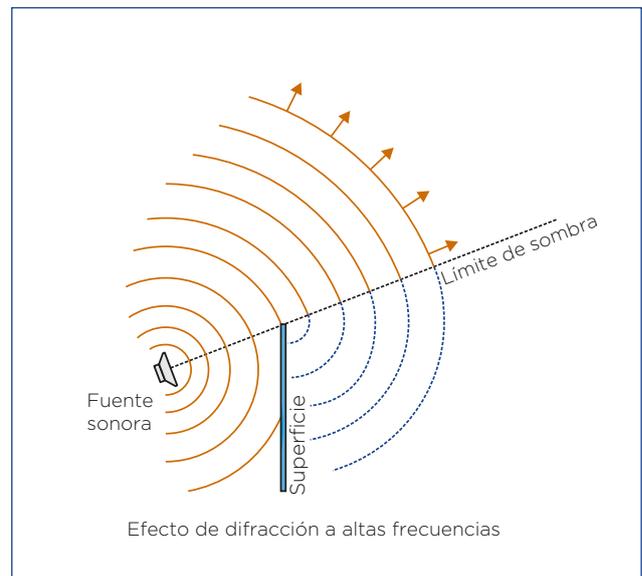
- W_1 = Energía acústica incidente.
- W_{refl} = Energía acústica reflejada.
- W_{abs} = Energía acústica absorbido.
- 1 = Absorción acústica del material.
- 2 = Atenuación del sonido transmitida por la estructura (disipación - transformación en calor).
- 3 = Disminución con la distancia.
- W_{trans} = Energía acústica transmitida.

Cuando una onda sonora incide en una superficie limite, parte de la energía incidente se refleja, parte se absorbe y parte se transmite al otro lado de dicha superficie, dando lugar a la reflexión, absorción y transmisión del sonido.

1.4.14. Difracción y refracción.

Existen otros fenómenos en la propagación de ondas sonoras que son importantes conocer como son la difracción, refracción.

Difracción: cuando una onda incide sobre una abertura o un obstáculo que impide su propagación, todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas. Este fenómeno se basa en el principio de Huygens.



Refracción: es el fenómeno que se produce cuando una onda sonora pasa de un medio a otro, cambiando su dirección y es producida por la variación de la velocidad de la onda sonora entre un medio y otro.

1.4.15. Vibraciones

Se entiende, en general, por sensación de vibración, la sensación de excitación vibrátil que se produce por contacto directo del cuerpo humano con un cuerpo sólido que vibra. Como no existe un órgano determinado que perciba este tipo de vibración, no es posible una separación clara entre sonido y sensación de vibración, a menos que limitemos la expresión de vibración a las vibraciones por debajo de 16 Hz (o 20 Hz); es decir, los infrasonidos que no se pueden percibir como sonido.

Sin embargo, esta limitación no es razonable ni en sentido físico ni en sentido fisiológico, ya que el oído puede percibir los sonidos que alcanzan y excitan la

membrana del tímpano, así como las vibraciones de los huesos del cráneo que excitan directamente al oído interno (audición por conducción ósea, audífonos).

También, las células sensoriales de la piel pueden sentir las vibraciones y, en el caso de ser fuertes, pueden abarcar todo el cuerpo y extender esta sensación a los órganos internos, fundamentalmente a los pulmones y estómago, ya que las bolsas de aire que contienen dichos órganos hacen las veces de amplificador de vibraciones.



2. Propagación sonora

2.1. Tipos de fuentes sonoras

Se definen los diferentes tipos de fuentes sonoras en función de la forma de propagación de su energía al medio.

El primer caso que podemos considerar es la fuente sonora cuyo frente de ondas se propaga en todas las direcciones posibles de igual forma. Es el caso de una fuente puntual cuya propagación puede ser esférica si la fuente está suspendida en el espacio, o semiesférica si está apoyada en una superficie reflectantes o en un cuarto de esfera si la fuente se apoya en dos superficies reflectantes.

En la mayoría de casos reales los focos sonoros deben aproximarse a este tipo de fuente puntual.

Cuando la fuente sonora presenta en una dimensión unas magnitudes más grandes que en el resto, podemos denominar a dicha fuente lineal. Su frente de ondas no se propagará de forma esférica sino de forma cilíndrica al entorno.

Veamos como podemos parametrizar este tipo de fuentes. Supongamos por ejemplo una vía de tráfico rodado, en una primera aproximación se puede modelizar esta fuente sonora como n fuentes separadas por una distancia b . Evidentemente esta no es una aproximación muy realista, pero permite comenzar a estudiar el problema. A este tipo de fuentes la podemos denominar como Fuentes Discretas en Línea. Dentro de este tipo de fuentes podemos considerar aquellas cuyo número de fuentes es finito, y aquellas cuyo número de fuentes es infinito.

El segundo tipo de fuente lineal que podemos considerar es aquella que presenta unas dimensiones finitas pero un número infinito de fuentes sonoras. Con este tipo de fuentes podemos parametrizar el tráfico de una vía férrea o el tráfico de una autovía en hora punta.

2.2. Propagación del sonido en el exterior

En el presente apartado vamos a estudiar la propagación en espacios abiertos del sonido generado por las diferentes fuentes enunciadas en el apartado anterior.

Para ello vamos a estudiar la propagación del sonido en un medio homogéneo y con posterioridad estudiar que ocurre en la propagación real en espacios abiertos.

2.2.1. Fuentes puntuales

Si consideramos un medio de propagación homogéneo sin absorción, el frente de ondas de una fuente sonora puntual de potencia W es un frente esférico, con lo que la intensidad de la onda disminuirá con el cuadrado de la distancia según la ecuación:

$$|I| = \frac{W}{4\pi r^2}$$

de donde podemos obtener la relación de las intensidades a dos distancias r_1 y r_2 .

$$\frac{|I_1|}{|I_2|} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Si lo transformamos en niveles de presión obtendremos que la pérdida de energía por divergencia geométrica en el caso de una fuente puntual viene dada por:

$$L_1 - L_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = 10 \log \frac{r_2^2}{r_1^2} = 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

donde si consideramos $r_1=2r_2$ obtenemos la relación:

$$L_1 - L_2 = 6 \text{ dB}$$

Se comprueba que al doblar la distancia el nivel de presión sonora decae 6 dB. Se comprueba con las expresiones anteriores que el caso de una fuente sonora omnidireccional y puntual en campo libre sin obstáculos, el nivel de presión sonora es dependiente de la distancia a la fuente.

Generalmente, el nivel de presión sonora de una fuente puntual se puede calcular con la expresión:

$$L_p = L_w - 20 \log(r) - 10 \log(4\pi / Q)$$

Siendo L_w el nivel de potencia de la fuente, Q el factor de directividad de la fuente, r la distancia al centro de la fuente sonora.

Cuando esta fuente puntual omnidireccional está lejos de cualquier plano reflectante, la energía sonora se propaga como ondas esféricas, y todos los puntos situados a la misma distancia de la fuente sonora tienen el mismo nivel sonoro. Para propagación esférica el factor de directividad es 1, por lo que la expresión anterior queda como:

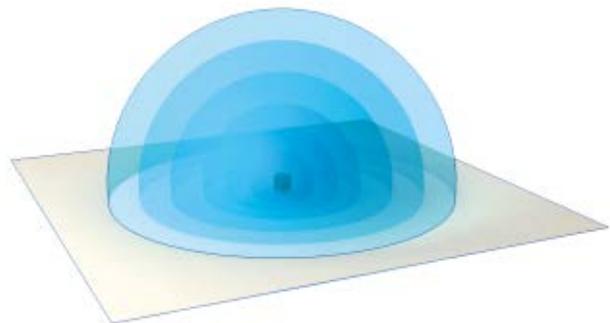
$$L_p = L_w - 20 \log(r) - 11 \text{ dB}$$



NIVEL SONORO DE UNA FUENTE PUNTUAL CERCA DE UN PLANO REFLECTANTE

Cuando una fuente puntual se encuentra cerca del suelo, la energía sonora se extiende sobre un hemisferio debido a los reflejos del suelo. En consecuencia, la intensidad sonora se duplica a una distancia dada en comparación con la distribución en una esfera entera. En este caso, el factor de directividad Q es 2 y el nivel de presión acústica se determina mediante la ecuación:

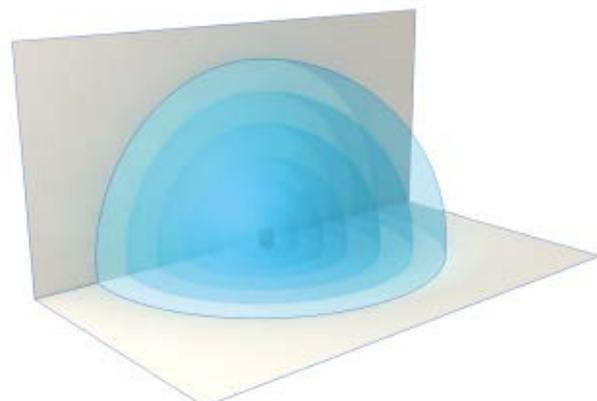
$$L_p = L_w - 20 \log(r) - 8 \text{ dB}$$



NIVEL SONORO DE UNA FUENTE PUNTUAL CERCA DE DOS PLANOS REFLECTANTES

Cuando una fuente puntual se encuentra cerca del suelo y cerca de una pared, la energía del sonido se extiende sobre una cuarta esfera debido a las reflexiones de las dos superficies. En consecuencia, la intensidad sonora se duplica a una distancia dada en comparación con la distribución en un hemisferio. El factor de directividad Q es 4 y el nivel de presión acústica se determina mediante la ecuación:

$$L_p = L_w - 20 \log(r) - 5 \text{ dB}$$



2.2.2. Fuentes lineales

2.2.2.1. Fuentes lineales infinitas

Para una fuente lineal emitiendo en un medio homogéneo sin absorción el frente de ondas no es esférico sino cilíndrico, con lo que la intensidad de la onda disminuirá siguiendo la relación:

$$|I| = \frac{W}{4\pi r}$$

Si repetimos el procedimiento realizado con las fuentes puntuales obtendremos que la pérdida de energía por divergencia geométrica en el caso de una fuente lineal viene dada por la ecuación:

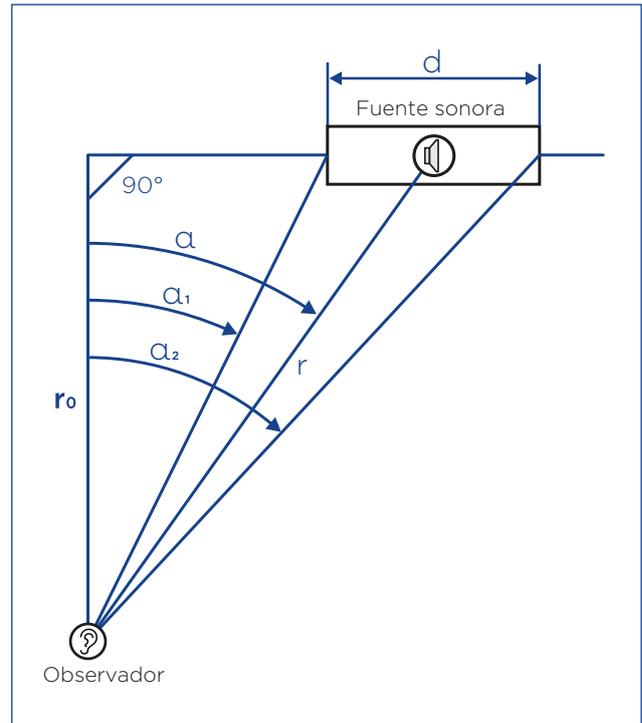
$$L_1 - L_2 = 10 \log \frac{r_2}{r_1}$$

donde si consideramos $r_1=2r_2$ obtenemos la relación

$$L_1 - L_2 = 3 \text{ dB}$$

2.2.2.2. Fuentes lineales finitas

Supongamos una fuente lineal finita a una distancia r_0 y de longitud d .



En este caso el nivel de presión sonora viene determinado por:

$$L_p = L_{WL} + 10 \log \left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{r_0 d} \right) - 8$$

donde L_{WL} es la potencia sonora por unidad de longitud, α_1 es ángulo desde el inicio de la fuente y α_2 es ángulo desde el final de la fuente.

2.2.3. Factores ambientales

Anteriormente hemos supuesto un medio homogéneo sin absorción, pero evidentemente la propagación del sonido en la atmósfera lleva consigo la pérdida de energía en forma de calor y la presión se va reduciendo durante la propagación de forma exponencial.

Para una onda esférica esta disminución se puede cuantificar como:

$$\Delta L = 20 \log e^{-\alpha_a(r_1-r_2)}$$

donde α_a es una constante que caracteriza la atenuación del medio de propagación. Si aplicamos logaritmos obtendremos

$$\Delta L = 8.7\alpha_a(r_1 - r_2)$$

de aquí podemos obtener que $8.7\alpha_a$ son los decibelios perdidos por metro recorrido debido a la absorción del medio.

2.2.3.1. Influencia de la Temperatura y Humedad

En el caso del aire los parámetros que influyen en la absorción son la temperatura y la humedad del mismo. La atenuación atmosférica a 20 °C puede ser calculada como

$$\Delta L = 7.4 \frac{f^2 r}{\varphi} 10^{-8}$$

donde f es la frecuencia de la banda en Hz, φ es la humedad relativa en %, r es la distancia entre la fuente y el observador en metros.

Para otras temperaturas la aproximación usada para el cálculo de la atenuación viene dada por

$$\Delta L(T, \varphi = 50\%) = \frac{\Delta L(20^\circ C, \varphi = 50\%)}{1 + \beta f \Delta T}$$

donde ΔT es la diferencia de temperatura con respecto a la temperatura de referencia de 20 °C, β es una constante de valor $4 \cdot 10^{-6}$ para ΔT en °C.

2.2.3.2. Influencia de un gradiente de temperatura

La velocidad del sonido en el aire, o lo que es lo mismo la velocidad con que se propagan las perturbaciones, depende de la presión atmosférica P_0 y de la densidad ρ_0 del aire según la fórmula de Laplace.

$$c = \sqrt{\frac{1.4 p_0}{\rho_0}}$$

La densidad ρ_0 del aire es función de la temperatura del aire, así a 22 °C y una presión de 10 Pa (≈ 1 atm) el parámetro ρ_0 toma un valor de 1.18 Kg/m^3 y la velocidad del sonido es de 345 m/s. A las temperaturas ambientales usuales podemos suponer que aproximadamente

$$c = 331.4 + 0.607\varphi \quad \text{m / seg}$$

donde φ es la temperatura en °C

La atmósfera real no es un medio uniforme, con lo que la temperatura es variable en cada punto del medio.

Aunque son posibles situaciones más complejas vamos a simplificar el estudio a dos casos en donde existe una única relación entre temperatura y altura. Supongamos un primer caso en el que la temperatura decrece con la altura, este es el comportamiento usual de la atmósfera que denominaremos situación con gradiente negativo.

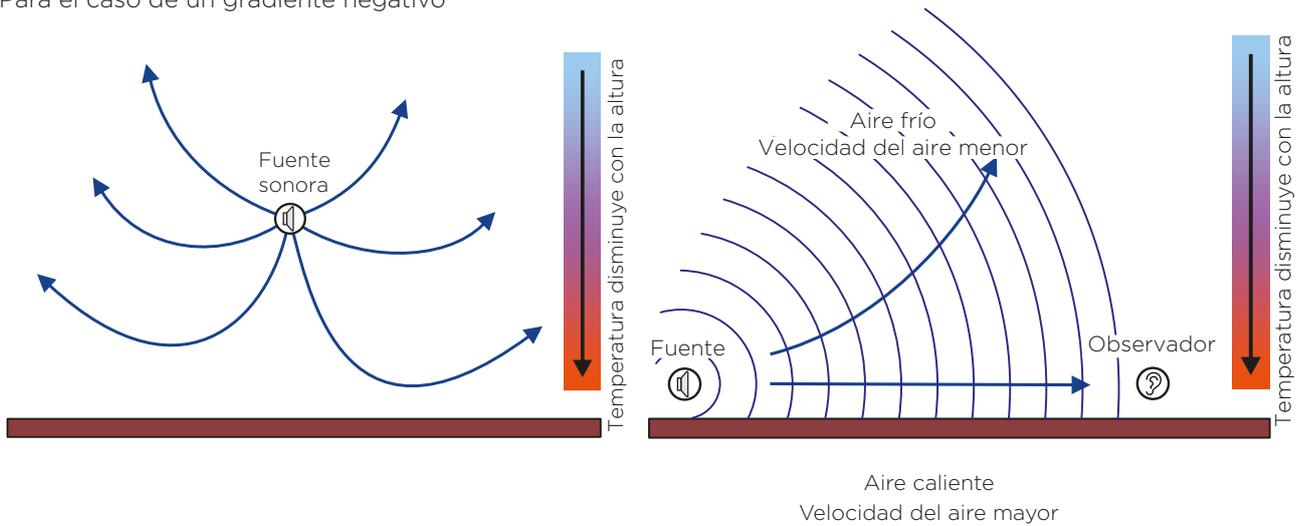
En el segundo caso la temperatura aumenta con la altura, comportamiento conocido como de inversión térmica o de gradiente positivo.

Para entender lo que ocurre en estos casos supongamos una atmósfera homogénea en todas las direcciones, la temperatura será la misma en cualquier dirección y en consecuencia la velocidad del sonido también. Esto provoca frentes de ondas esféricas y el rayo sonoro perpendicular al frente de onda serán líneas rectas que salen de la fuente. Con lo que el frente de onda alcanza a los puntos equidistantes de la fuente en el mismo instante temporal, habiendo recorrido este frente de ondas la misma distancia en todos los puntos equidistantes, habiendo perdido la misma energía en todos ellos.

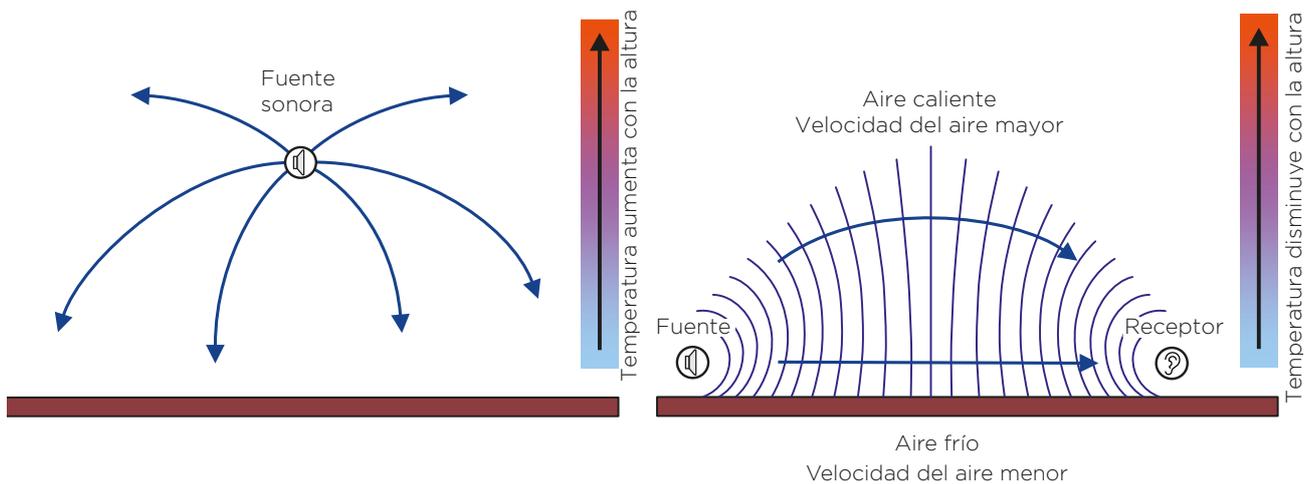
Si por el contrario la temperatura no es constante, la velocidad del sonido tampoco lo será existiendo direcciones privilegiadas donde la velocidad será mayor que en otras. Este hecho hace que el frente de ondas se deforme y los rayos sonoros (perpendiculares al frente de onda) se curven dejando de ser líneas rectas.

Esto hace que cuando el frente de ondas recorra más distancia para llegar a unos puntos que a otros, aunque todos estos puntos sean equidistantes de la fuente. Se pueden ocasionar zonas llamadas de sombra donde el nivel sonoro es menor que en otros puntos equidistantes a la fuente.

Para el caso de un gradiente negativo



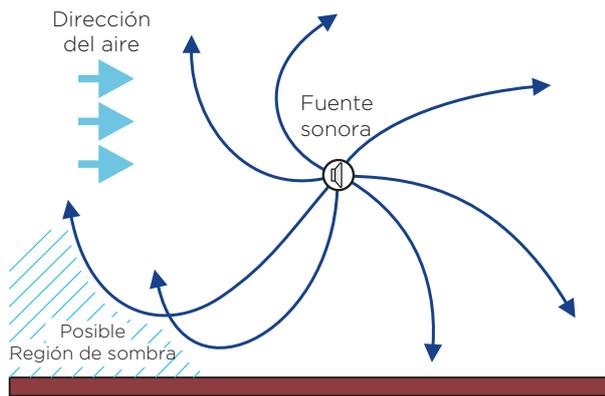
En el caso de inversión térmica los rayos sonoros adoptan la siguiente forma:



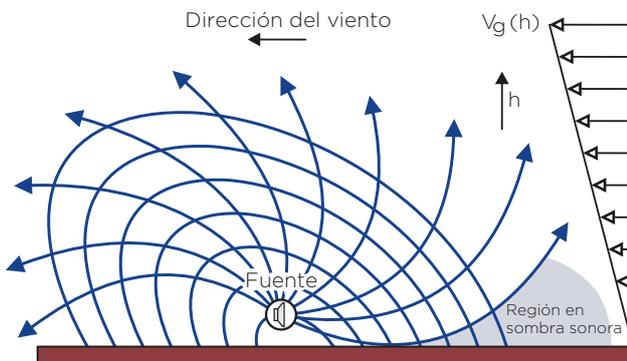
2.2.3.3. Influencia del viento

El comportamiento del viento en la atmósfera es como poco igual de variable que el comportamiento de la temperatura, con lo que, aunque teóricamente sea posible estudiarlo deberemos partir de grandes simplificaciones. La influencia del viento en la propagación tiene el mismo origen que la influencia de la temperatura. La presencia de un gradiente de viento modifica la velocidad del sonido en cada una de las direcciones de propagación, este hecho como ocurría con la temperatura modifica la trayectoria de los rayos sonoros.

Si suponemos que la velocidad del viento aumenta con la altura la curvatura de los rayos sonoros hace que se genere una zona de sombra en el lado en el que sopla el viento. Este hecho es la explicación de que nos cueste escuchar una fuente cuando el viento sopla en dirección contraria a la propagación del sonido.



Influencia del viento



Superficie terrestre



2.2.3.4. Influencia del suelo

La absorción debida al suelo es función de la estructura y las características acústicas del mismo. Aunque es tremendamente complicado estudiar teóricamente el comportamiento del suelo en la propagación del sonido, en una primera aproximación podemos suponer que su influencia es despreciable a distancias cortas (entre 30-70 metros), mientras que a distancias mayores (70-700m) la atenuación puede expresarse en términos de dB/100 metros siempre y cuando la atenuación total no exceda 30 dB.

Existen leyes semi-empíricas que tratan de simular la propagación en diferentes tipos de suelo, aunque sus valores son aproximados nos pueden dar una idea del orden de magnitud de esta absorción.

$$\Delta L_{\text{hierba}} = (0.18 \log f - 0.31)r$$

$$\Delta L_{\text{bosque}} = 0.01 f^{1/3} r$$

donde f es la frecuencia del sonido en Hz y r es el camino recorrido de suelo.

Existen tablas que indican la atenuación dependiendo del tipo de suelo:

2.2.3.5. Propagación cerca del suelo

Cuando el camino de propagación se produce cerca del suelo existen factores que aumentan la absorción con respecto a la que se produce en camino más elevados.

Esta zona de extra-atenuación comprende de pocos centímetros a algunos metros. En esta franja los movimientos de objetos terrestres, la vegetación y barreras naturales cercanas al suelo aumentan la atenuación.

2.2.3.6. Influencia de barreras

La colocación de muros no porosos de suficiente densidad (mínimo de 20 kg/m²) pueden generar pérdidas energéticas considerables en el camino de propagación entre la fuente y un observador. Aunque sobre este tema se volverá con mayor profundidad en aplicaciones concretas en posteriores capítulos introduciremos algunos conceptos.

El análisis de esta influencia se realiza de forma analítica a partir de resultados experimentales y de la consistencia de estos datos con la teoría de difracción óptica de Fresnel. Este análisis se realiza por separado para fuentes puntuales y lineales (estudio Maekawa, ver capítulo 3.5.).

Para fuentes puntuales la atenuación producida por una barrera viene dada por:

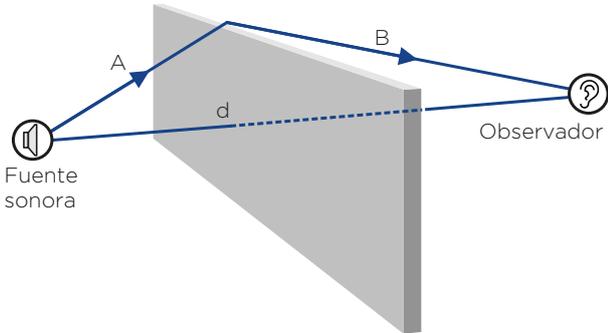
$$\Delta L = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi N}} + 5 \quad N \geq -0.2$$

$$\Delta L = 0 \quad N < -0.2$$

donde N es el número de Fresnel

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d)$$

donde λ es la longitud de onda del sonido, del camino recto entre fuente y observador, $A+B$ es el camino recorrido al salvar la barrera entre fuente y observador, + si el observador está en la zona de sombra y - si el observador está en la zona de luz.



En la zona de luz $N < -0.2$ la atenuación puede suponerse despreciable, mientras que en la zona de transición a la zona de sombra la atenuación puede suponerse de 0 a 5 dB.

En la zona de sombra la atenuación puede oscilar en un rango de valores comprendido entre 5 dB y 24 dB. Este límite práctico es el resultado de gran número de experiencias.

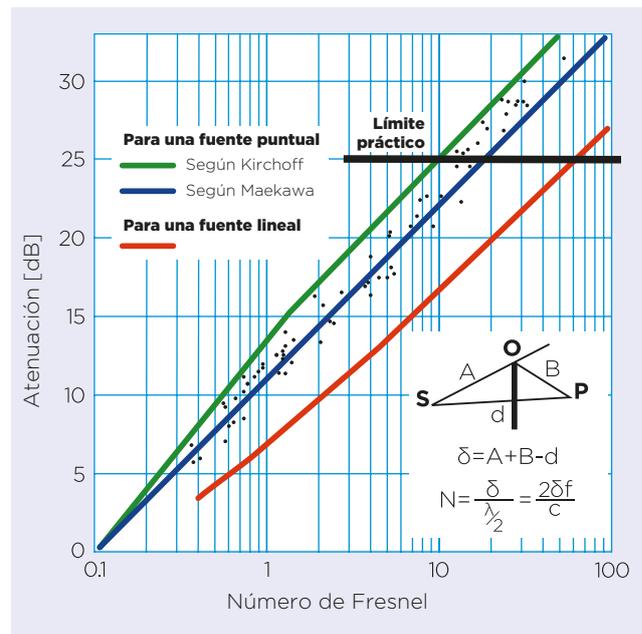
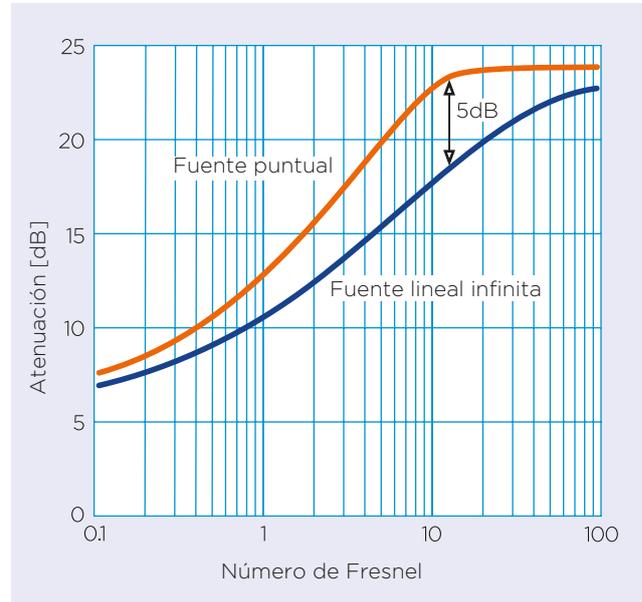
Para fuentes sonoras lineales paralelas al eje de la barrera, la atenuación puede calcularse con la misma ecuación, pero sustituyendo N por N_{max} donde:

$$N_{max} = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d)$$

donde d es la distancia entre fuente y observador en el plano de proyección perpendicular a la barrera y $A+B$ es el camino recorrido entre fuente y observador en este plano de proyección perpendicular a la barrera.

Si fuente y observador están cercanos a la barrera deberemos incrementar la atenuación con un término:

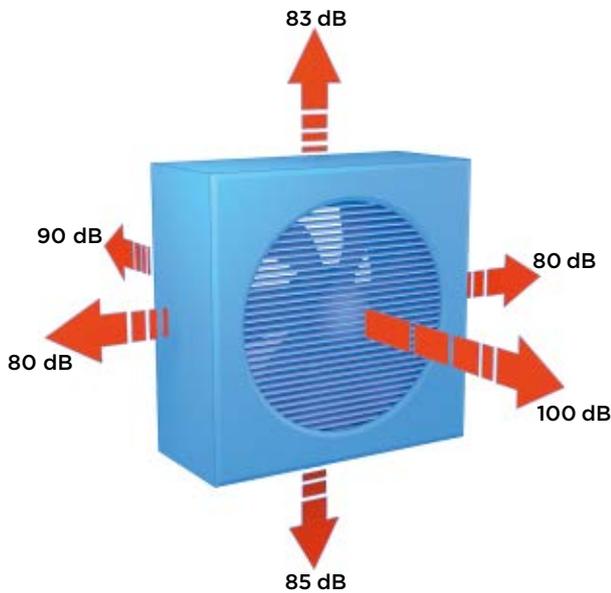
$$10 \log \left(\frac{A + B}{d} \right)$$



2.2.4. Campo de radiación de una fuente

2.2.4.1. Campo cercano y campo lejano

La característica del campo de radiación de una fuente sonora depende de la distancia de la fuente. En la proximidad de la fuente sonora la velocidad de las partículas del medio no necesariamente tiene que tener la dirección de propagación de la onda con lo que aparece una componente de velocidad tangencial en cada punto del espacio. A esta zona la denominaremos campo próximo y viene caracterizado por una apreciable variación de los niveles de presión sonora a lo largo de una esfera que envuelva a la fuente.

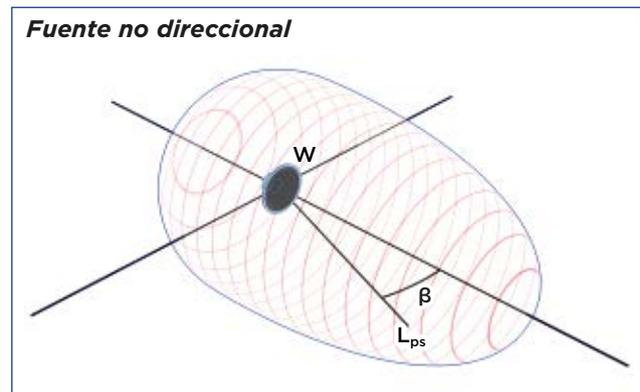
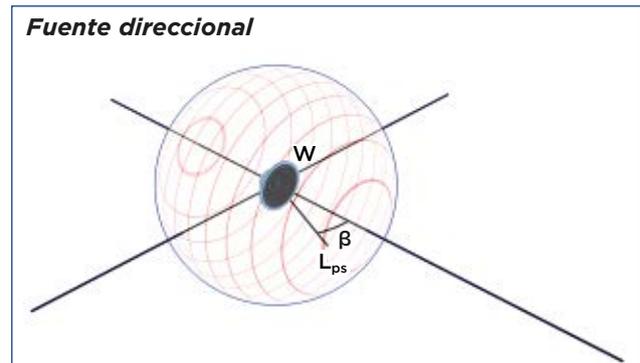


La extensión de este campo cercano es función de la frecuencia y de las dimensiones de la fuente. Teóricamente es difícil delimitar el campo cercano, siendo necesario una exploración experimental para ello.

En lo que denominaremos campo lejano el nivel de presión sonora de una fuente puntual decrece 6 dB cada vez que se dobla la distancia al emisor (si la fuente emite en campo libre radiando en todas las direcciones de una esfera).

2.2.4.2. Directividad de una fuente

Una medida de la directividad de una fuente sonora es el factor de directividad Q_θ . Para entender el significado de este parámetro vamos a comparar la propagación del sonido de dos fuentes en campo libre, una no-direccional y otra direccional.



En la no-direccional el nivel de presión sonora es el mismo en cualquier punto equidistante a la fuente, mientras que en la direccional los valores del nivel de presión sonora son función del ángulo entre la dirección fuente-observador y unos ejes de referencia.

El factor de directividad Q_θ se define como la relación entre el cuadrado de la presión sonora medida a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y el cuadrado de la presión sonora medida para la misma distancia r de una fuente no-directiva radiando la misma potencia W . Esta definición la podemos reescribir como la relación entre la intensidad medida a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y la intensidad medida a la misma distancia para una fuente de igual potencia W y no-direccional.

$$Q_\theta = \frac{p_\theta^2}{p_s^2} = \frac{I_\theta}{I_s} \quad Q_\theta = \frac{10^{\frac{L_{p\theta}}{10}}}{10^{\frac{L_{ps}}{10}}}$$

o

$$Q_\theta = 10^{\frac{L_{p\theta} - L_{ps}}{10}} \quad L_{p\theta} - L_{ps} = 10 \log Q_\theta$$

donde $L_{p\theta}$ es el nivel de presión sonora medido a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W en un campo libre, L_{ps} es el nivel de presión sonora medido a una distancia r de una fuente no-direccional de potencia sonora W en un campo libre.

Índice de Directividad DI_θ

El índice de directividad DI_θ se define como:

$$DI_\theta = 10 \log Q_\theta$$

o

$$DI_\theta = L_{p\theta} - L_{ps}$$

Para el caso de una fuente no-directiva radiando de forma esférica presenta un valor $Q_\theta = 1$ y un $DI_\theta = 0$ para todos los ángulos.

2.2.4.3. Nivel de presión sonora y directividad

El nivel de presión sonora para una fuente no-direccional es

$$L_{ps} = 10 \log \frac{p^2}{4 \cdot 10^{-10}}$$

si consideramos

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

ρ = density

c = speed of sound

donde ρ es la densidad y c la velocidad del sonido. Asumiendo que $\rho c = 400$, el área de una esfera $4\pi r^2$ y que $I=W/\text{area}$, tenemos que

$$L_{ps} = 10 \log \left(\frac{W 10^{12}}{4\pi r^2} \right)$$

De donde encontramos que:

$$L_{p\theta} = 10 \log \frac{W Q_\theta 10^{12}}{4\pi r^2}$$

que en forma logarítmica resulta:

$$L_{p\theta} = L_w + DI_\theta - 20 \log r - 11$$

2.2.4.4. Determinación de la directividad

A continuación, vamos a determinar la forma de conocer la directividad de una fuente en diferentes casos de emisión. Una misma fuente tiene diferentes formas de propagar su sonido al entorno, estas formas dependen de la forma en que este colocada esta fuente con respecto al entorno, puede estar suspendida con lo que la radiación de la fuente es esférica, o puede estar apoyada sobre una superficie reflectante con lo que la radiación es posible sólo en una semiesfera, o puede estar apoyada sobre dos superficies con lo que es sólo posible la propagación en un cuarto de esfera.

En propagación esférica

El índice de directividad de una fuente en campo libre (esférico) a un determinado ángulo θ y a una determinada banda se calcula como

$$DI_{\theta} = L_{p_{\theta}} - \langle L_{p_s} \rangle$$

donde $L_{p_{\theta}}$ es el nivel de presión sonora medido a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y $\langle L_{p_s} \rangle$ es el nivel de presión sonora promedio en una esfera de radio r .

En propagación 1/2 esférica

El índice de directividad de una fuente emitiendo sobre un plano rígido a un determinado ángulo θ y a una determinada banda se calcula como

$$DI_{\theta} = L_{p_{\theta}} - \langle L_{p_H} \rangle + 3$$

donde $L_{p_{\theta}}$ es el nivel de presión sonora medido a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y $\langle L_{p_H} \rangle$ es el nivel de presión sonora promedio en una semiesfera de radio r .

Los 3 dB sumados a $\langle L_{p_H} \rangle$ es debido a que la intensidad radiada es doble en una semiesfera que en una esfera completa. Este hecho ocasiona que el índice de directividad de una fuente no-direccional emitiendo sobre un plano rígido presente un valor de $DI_{\theta} = DI = 3$ dB.

En propagación 1/4 esférica

Muchas fuentes sonoras en su emplazamiento definitivo llevan asociadas más de una superficie reflectante (pared-techo, suelo-pared) con lo que la propagación no se realiza en una semiesfera sino en 1/4 de esfera.

El índice de directividad en estos casos se calculará como:

$$DI_{\theta} = L_{p_{\theta}} - \langle L_{p_Q} \rangle + 6$$

donde $L_{p_{\theta}}$ es el nivel de presión sonora medido a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y $\langle L_{p_Q} \rangle$ es el nivel de presión sonora promedio en el cuadrante de esfera de radio r .

En propagación 1/8 esférica

Muchas fuentes de sonido tienen en su ubicación final más de dos superficies reflectantes asociadas con las que la propagación no ocurre en un 1/4 de una esfera sino en 1/8 de una esfera.

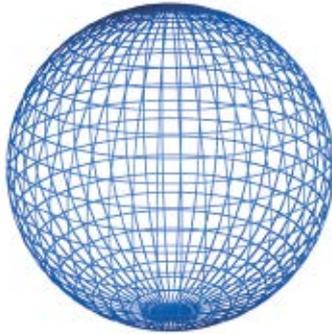
El índice de directividad en estos casos se calculará como:

$$DI_{\theta} = L_{p_{\theta}} - \langle L_{p_Q} \rangle + 9$$

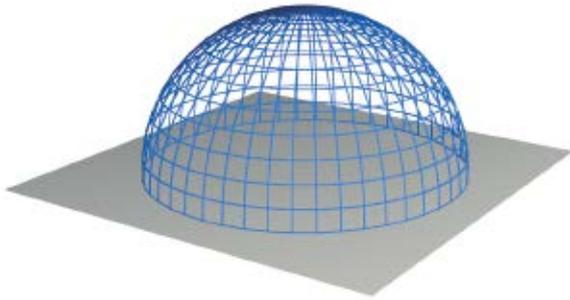
donde $L_{p_{\theta}}$ es el nivel de presión sonora medido a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y $\langle L_{p_Q} \rangle$ es el nivel de presión sonora promedio en el octante de esfera de radio r .

Direccionalidad de la Propagación del Sonido

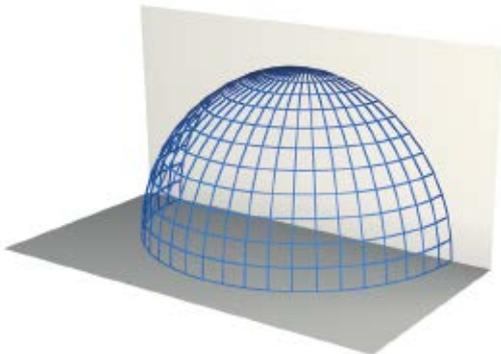
Factor de Direccionalidad (Q). Relaciones simplificadas



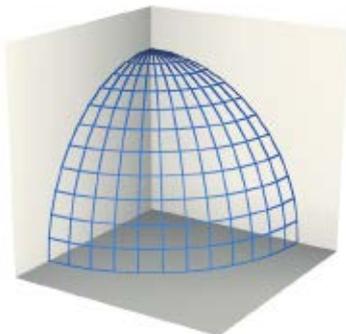
- a Radiación Esférica
 $Q = 1,$



- b $\frac{1}{2}$ Radiación Hemisféricas
 $Q = 2,$



- c $\frac{1}{4}$ Radiación Esférica
 $Q = 4,$



- d $\frac{1}{8}$ Radiación Esférica
 $Q = 8.$

2.3. Propagación sonora en recintos

2.3.1. Campo directo y campo reverberante

Las ondas sonoras radiadas por una fuente situada en un recinto cerrado, sufren al propagarse por su interior una serie de reflexiones contra las superficies del recinto, perdiendo parte de su energía al ser absorbida por estas.

El número de dichas reflexiones dependerá inversamente de la absorción acústica del recinto.

En la mayor parte de las situaciones prácticas, en el interior del local se logra una distribución homogénea de la energía sonora y de las direcciones de procedencia de las ondas, cumpliendo las condiciones de campo reverberante. Además, y superpuesto con el anterior, existe un campo directo generado por la energía sonora radiada por la fuente y que se propaga en el aire desde la fuente al observador.

El nivel de presión sonora en cualquier punto interior de un recinto cerrado será el resultado de las contribuciones de los campos directo y reverberante. Este nivel de presión sonora se puede expresar mediante la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

donde L_p es el nivel de presión sonora en la posición considerada, L_w es el nivel de potencia sonora de la fuente, r es la distancia entre la fuente sonora y la posición considerada, Q es el factor de direccionalidad de la fuente y R es la constante del recinto, definida como:

$$R = \frac{S\alpha}{1 - \alpha}$$

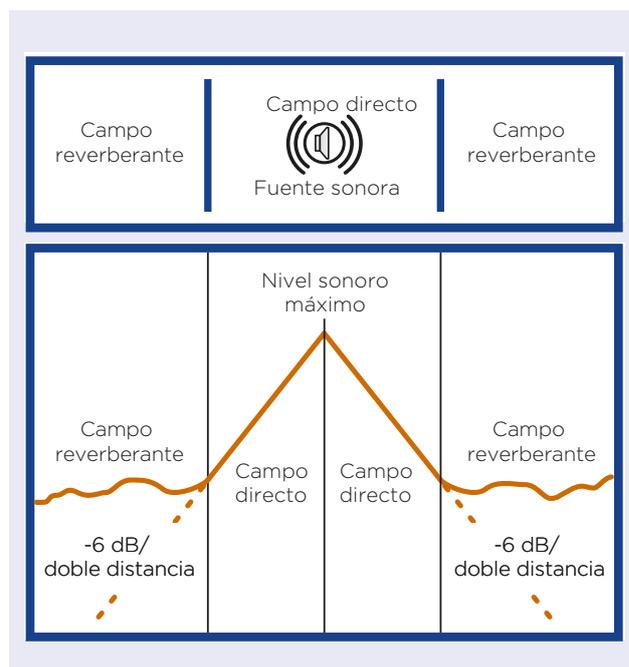
$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i s_i}{\sum_{i=1}^N s_i}$$

siendo, S la superficie total del recinto, α la absorción media del recinto calculada como: donde α_i es el coeficiente de absorción del material de la superficie si presente en el recinto.

Esta ecuación describe de forma sencilla el campo sonoro en cualquier punto interior del recinto, y permite conocer la importancia relativa de las contribuciones de los campos directo y reverberante. En efecto:

- Si la absorción acústica del local es mínima o nula (R es pequeña), predomina el término $4/R$ en el paréntesis de la ecuación anterior. En este caso el nivel sonoro L_p es constante en cualquier posición del recinto y de las fuentes sonoras. Estaremos en este caso en las condiciones de campo reverberante.
- Si existe una gran absorción acústica en el local (R es grande), predomina el término $Q/\pi r^2$ en el paréntesis de la ecuación anterior. En este caso el nivel sonoro L_p disminuye con la distancia entre fuente y posición del recinto. Estaremos en este caso en las condiciones de campo directo.

En la siguiente figura se presenta la variación característica del nivel de presión sonora con la distancia a la fuente sonora para recintos cerrados.



En esta figura se puede apreciar que en las cercanías a la máquina existe un predominio claro del campo directo con caídas de 6 dB cada vez que se dobla la distancia en caso de fuentes puntuales, mientras que a partir de cierta distancia el nivel sonoro permanece constante al existir predominio del campo reverberante. Es en la zona donde existe un predominio del campo reverberante donde mediante el aumento de la absorción acústica del recinto se pueden reducir los niveles sonoros.

2.3.2. Coeficientes de absorción

El coeficiente de absorción, que se define como el cociente entre la energía absorbida respecto a la incidente, depende tanto del tipo de material como de su forma de montaje, influyendo en el tipo de mecanismo de absorción que se desarrolle.

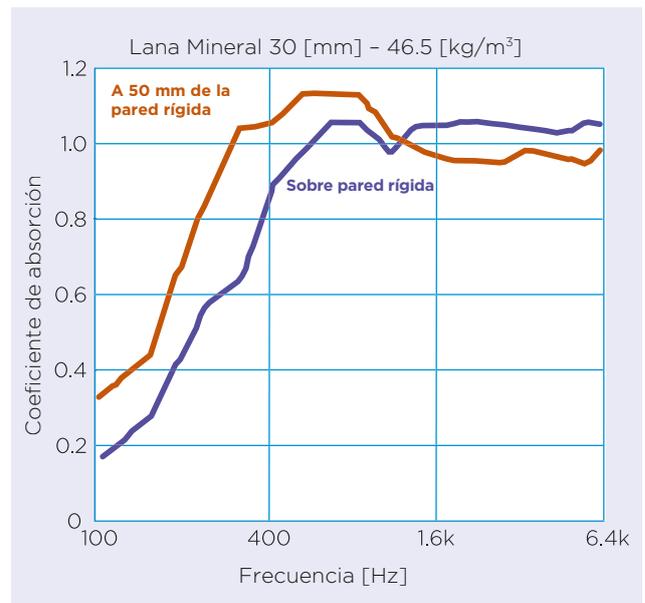
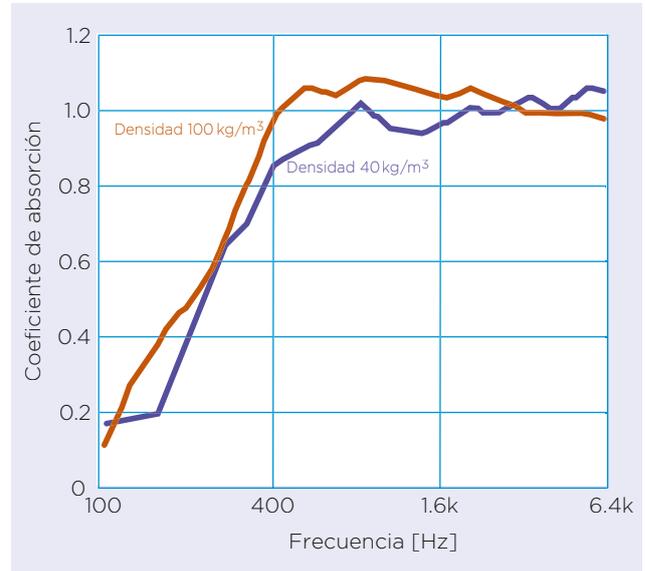
$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

Resumiendo las consideraciones detalladas previamente, se puede concluir que:

- La absorción aumenta con la frecuencia.
- Para altas frecuencias la absorción no depende del espesor del material.
- Para bajas frecuencias la absorción aumenta con el espesor.

En las siguientes figuras se muestra la absorción acústica de un material tipo lana mineral, para diferentes tipos de montajes, espesores, densidades y distancias a una pared rígida.

Se puede apreciar el aumento a bajas frecuencias de la absorción al separar el material de la pared rígida.



2.3.3. Reverberación

La propagación del sonido en recintos cerrados se ve influenciado por la presencia de las superficies que lo limitan y por los elementos existentes en su interior.

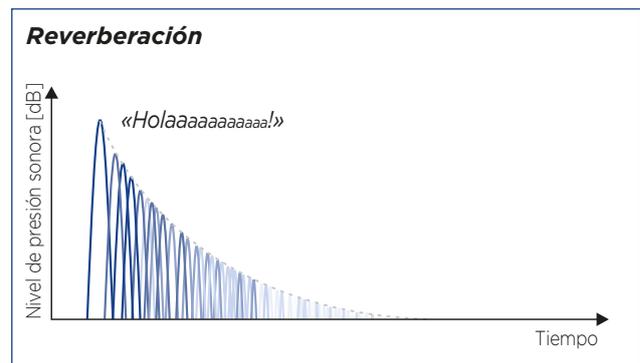
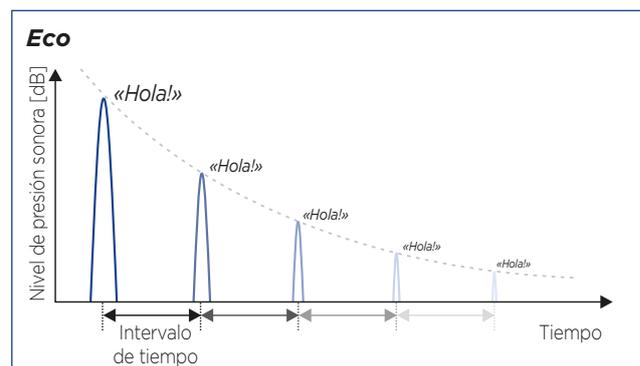
Las ondas sonoras al chocar contra las paredes pierden parte de su energía al ser absorbida ésta por las paredes.

En el caso ideal en que los materiales que componen las paredes de un recinto fueran totalmente absorbentes, no existirían reflexiones y la propagación sería similar a la que se presenta en situaciones de campo libre o anecoico. Si, por el contrario, las paredes fuesen totalmente reflejantes las ondas sonoras sufrirían un gran número de reflexiones y definiríamos el campo como reverberante. En la práctica las situaciones nunca son totalmente anecoicas o reverberantes, ya que siempre existe una cierta absorción acústica en los recintos.

El fenómeno de reverberación se puede entender como la extinción prolongada del sonido, debido a las múltiples reflexiones que se producen en el recinto y a la absorción del aire que ésta encierra. Dicho en otras palabras, se puede entender la reverberación como la existencia de un sonido en un local después de haber cesado su emisión, motivado por las reflexiones múltiples sobre las superficies del local.

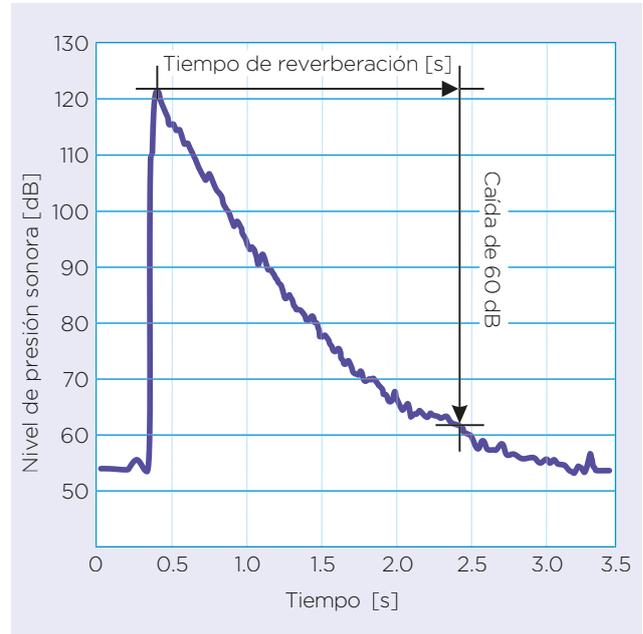
El tiempo de reverberación de un recinto es una medida de la permanencia de la energía sonora en el recinto una vez ha cesado la fuente sonora que la producía. Aunque existen un gran número de parámetros para definir parcialmente la calidad acústica de un recinto, es sin duda alguna el tiempo de reverberación el parámetro que mejor caracteriza la calidad acústica de un recinto.

Una reverberación se percibe cuando la onda sonora reflejada llega al oído en menos de 0,1 segundos después de la onda sonora original. Dado que la onda sonora original todavía se mantiene en la memoria, no hay retraso de tiempo entre la percepción de la onda sonora reflejada y la onda sonora original. En el caso de que la diferencia sea superior a 0,1 segundos, a este fenómeno se le conoce como eco.



2.3.3.1. Medida de la reverberación

El tiempo de reverberación, por convenio, se considera el tiempo necesario para que la intensidad del sonido que se extingue quede reducida a una millonésima parte de la intensidad inicial de emisión. Esto traducido a niveles de presión sonora significa que el tiempo de reverberación es el tiempo necesario para que tras el cese de la emisión de un sonido su nivel de presión sonora haya caído 60 dB.

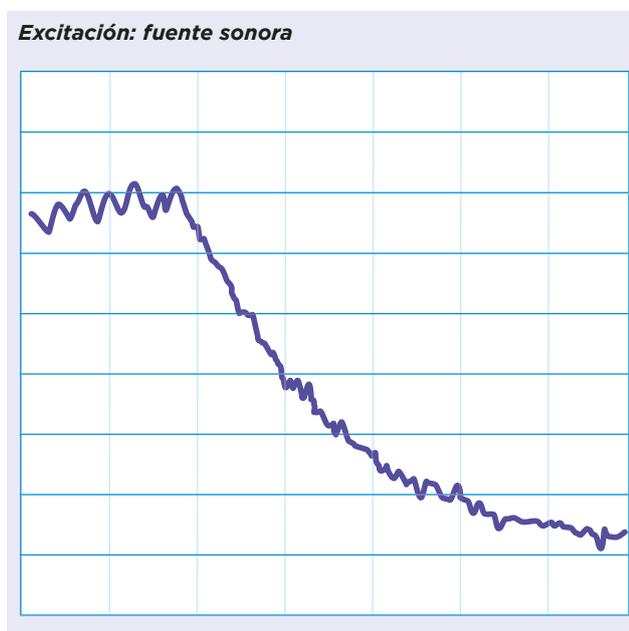


A la hora de medir el tiempo de reverberación se dispone de dos posibilidades. Se puede registrar la absorción del sonido producido por la explosión de un elemento pirotécnico, o se puede mantener la emisión de un sonido y registrar como este es absorbido una vez el emisor ha sido desconectado (p.e. una altavoz reproduciendo ruido rosa). En las siguientes figuras se muestra cual sería la evolución temporal del nivel sonoro en ambos casos.

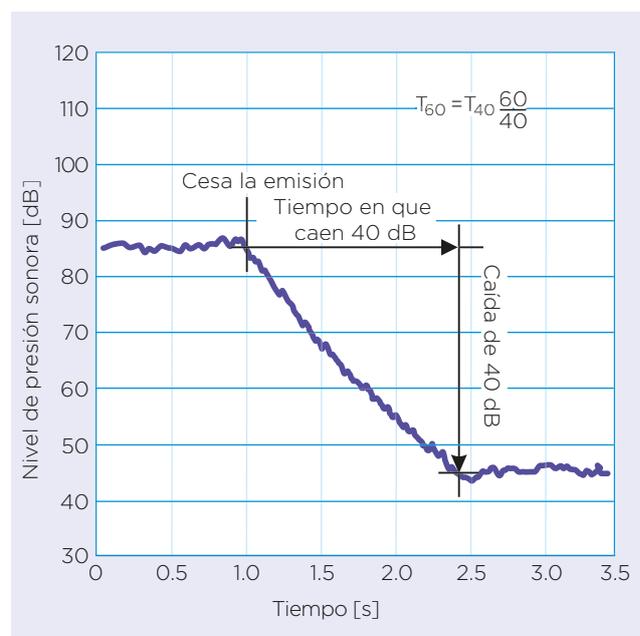
Si el decaimiento del nivel sonoro en una sala es función de las propiedades absorbentes de los materiales que conforman sus paredes, debe quedar claro que, debido a que las propiedades absorbentes de los materiales son función de la frecuencia del sonido que impacta sobre

ellas, el tiempo de reverberación también dependerá claramente de la frecuencia. Es por ello que para la correcta descripción de la reverberación en un recinto se debe detallar el tiempo de reverberación por bandas de frecuencia sea en bandas de octava o en bandas de tercios de octava.

A la hora de medir experimentalmente la reverberación se utiliza básicamente un análisis en bandas de octava entre 125 Hz a 4 kHz. Si se utiliza como fuente de excitación una explosión, esta tiene un espectro relativamente plano que nos permite tener gran nivel sonoro a todas las bandas de frecuencias (a frecuencias bajas podemos tener algún problema en ciertas ocasiones). Si se utiliza como excitación una fuente sonora bastará con excitar el altavoz con una grabación con ruido rosa (igual nivel sonoro en todas las bandas de octava).



Existen casos en los que es imposible conseguir una caída de 60 dB, debido a que la fuente utilizada como excitación no supera en 60 dB el nivel sonoro de fondo de la sala (p.e. es lo que suele pasar cuando se debe medir la reverberación en plantas industriales con niveles de fondo elevados). En estos casos se mide una determinada caída, que como mínimo deben estar comprendida entre 20 y 25 dB, y se extrapolan los datos de forma lineal hasta una caída de 60 dB. En la siguiente figura se muestra un ejemplo en que se registra una caída de 40 dB.



A la vez, el tiempo de reverberación es una medida de las propiedades absorbentes o reflejantes de las superficies interiores de la sala. Si estas propiedades absorbentes se conocen para todos los materiales que se van a emplear en la construcción del recinto, y se conoce su distribución en la misma, se pueden hacer estimaciones aproximadas de dicho tiempo de reverberación en fase de proyecto.

Existen un gran número de formulaciones encaminadas a calcular teóricamente los tiempos de reverberación de un recinto. Desde las formulaciones iniciales de Sabine hasta nuestros días gran número de investigadores han intentado encontrar formulaciones que fueran útiles en cualquiera de las diferentes configuraciones y tipos de recintos.

La expresión más sencilla para el cálculo del tiempo de reverberación es la ecuación de Sabine:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{s\alpha_m + 4mV}$$

donde V es el volumen del recinto, s es la suma de las superficies presentes en el interior del recinto, α_m es la absorción media del recinto y el término 4 mV es la contribución de la absorción del volumen de aire existente en el interior del recinto. Normalmente el término 4 mV es despreciable frente a $s\alpha_m$, salvo en grandes recintos.

$$T_{60} = \frac{0.161V}{s\alpha_m}$$

Aunque el valor exacto de la constante m depende de la temperatura y el % humedad relativa, una aproximación muy válida sólo considera su dependencia con el % humedad relativa. Esta aproximación permite calcular el valor de m mediante:

$$m = 5.5 \cdot 10^{-4} \frac{50}{0/\%} \left(\frac{f}{1000} \right)^{1.7}$$

donde % es el porcentaje de Humedad Relativa del aire en el interior del recinto y f es la frecuencia del sonido.

La importancia de la atenuación acústica ofrecida por el aire depende de los valores de la absorción total del recinto y del volumen de este. En general, será importante para grandes volúmenes, sobre todo cuando la absorción de estos es muy pequeña (p.e. naves industriales).

De forma general puede establecerse que la ecuación de Sabine presenta un adecuado margen de precisión en la mayor parte de las situaciones prácticas, aun admitiendo que para valores de coeficientes de absorción superiores a 0.2-0.3 el error que se comete en el cálculo del tiempo de reverberación es del orden del 10%.

Entre las formulaciones que se han propuesto para corregir las imperfecciones de la ecuación de Sabine se encuentran las ecuaciones de Eyring-Norris y Millington-Sette.

La ecuación de Eyring-Norris calcula el tiempo de reverberación mediante la expresión:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-s \ln(1 - \alpha_m)}$$

Los resultados obtenidos con esta ecuación concuerdan con los medidos experimentalmente en aquellos casos en los que existe una gran absorción acústica en el interior del recinto. Esta ecuación ofrece resultados más exactos cuanto más uniforme es la distribución de la absorción acústica en el interior.

La ecuación de Millington-Sette calcula el tiempo de reverberación mediante la expresión:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-\sum_i s_i \ln(1 - \alpha_i)}$$

Está comprobado experimentalmente que esta ecuación es la más adecuada para predecir los tiempos de reverberación en aquellos recintos en donde existe una gran variedad de materiales distintos y con coeficientes de absorción muy variados.

La aplicación de la ecuación de Millington ofrece valores erróneos si algún coeficiente de absorción de algún material o elemento tiene valores cercanos a 1. En estos casos los problemas vienen derivados de la necesidad de calcular el término:

$$\ln(1 - \alpha_i)$$

En el caso en que existan zonas que no están cerradas por ninguna pared, estas superficies se tratan en las simulaciones como "ventanas abiertas", es decir toda la energía sonora que llega a estas superficies escapa del recinto y no vuelve en forma de reflexión. Debido a esto, los coeficientes de absorción de estas superficies se les asigna el valor 1 (toda la energía que le llega escapa y no vuelve, por ejemplo, pasillos largos en una pared del recinto).

En la práctica cuando algún coeficiente de absorción tiene el valor unidad no se utiliza el tiempo de reverberación según Millington. Cuando los coeficientes presentan valores cercanos a la unidad, pero inferiores se debe ser consciente de que los valores calculados serán extrañamente pequeños. Para evitar esta situación se suele proponer como solución promediar pequeñas superficies muy absorbentes con aquellas otras superficies mayores y con menores coeficientes de absorción.

2.3.4. Acondicionamiento acústico

La finalidad de acondicionar acústicamente un determinado recinto es conseguir que el sonido proveniente de una fuente o fuentes sea irradiado por igual en todas direcciones logrando un campo sonoro difuso ideal, mejorando las condiciones acústicas de sonoridad y mejorando el confort. En industria, lo más habitual es reducir el nivel sonoro en el recinto reduciendo al mínimo el tiempo de reverberación del recinto industrial considerado, y para ello es necesario que:

- Se conozca perfectamente el espectro de frecuencias a absorber.
- Se conozca perfectamente los coeficientes de absorción de los materiales a utilizar y su variación en función de la frecuencia.
- Se intente resolver la absorción únicamente con materiales absorbentes superficiales, procurando mantener las condiciones de campo difuso.
- En el caso de que queden bandas por absorber, en las bajas frecuencias, recurrir a elementos de absorción selectivos como resonadores y membranas.

El cálculo de esta reducción de la presión sonora puede obtenerse partiendo de los tiempos de reverberación antes y después de la aplicación de los materiales absorbentes, según la relación:

$$\Delta L_p = 10 \log \frac{T_1}{T_2}$$

donde:

- T1 - Tiempo de reverberación antes del tratamiento (s).
- T2 - Tiempo de reverberación después del tratamiento (s).

La fórmula más utilizada para el cálculo es la aplicación de la ecuación de Sabine:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{A} \qquad T_{60} = \frac{0.161V}{s\alpha_m}$$

donde:

- T - Tiempo de reverberación (seg).
- V - Volumen del recinto (m³).
- A - Área absorbente del local (m²).

Esta ecuación es aplicable, especialmente en recintos no muy grandes, donde las superficies que los limitan posean un coeficiente de absorción uniforme y cuyo valor no sea superior a 0,2.

Para valores del coeficiente de absorción superiores y siempre que exista una cierta uniformidad entre los mismos, es más conveniente la utilización de la ecuación de Eyring:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-s \ln(1 - \alpha_m)}$$

Donde:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

V = Volumen del local, [m³].

S = Suma de las superficies que limitan el local [m²].

ln = Logaritmo neperiano.

α_m = Coeficiente de absorción medio de las superficie que limitan el recinto.

S_1, S_2, \dots, S_n = Superficies que limitan el recinto. [m²].

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ = Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

Para valores del coeficiente de absorción muy diferentes, es más exacto utilizar la ecuación de Millington:

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-\sum_i S_i \ln(1 - \alpha_i)}$$

Donde:

$$\sum_{j=1}^{j=n} S_j \ln(1 - \alpha_j) = S_1 \cdot \ln(1 - \alpha_1) + S_2 \cdot \ln(1 - \alpha_2) + \dots + S_n \cdot \ln(1 - \alpha_n)$$

V = Volumen del local, [m³].

ln = Logaritmo neperiano.

S₁, S₂ ..., S_n = Superficies que limitan el recinto, [m²].

α₁, α₂ ..., α_n = Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

Ciertos recintos pueden ser foco de un ruido de nivel sonoro elevado si no se toman precauciones. Este es el caso de muchos locales industriales, donde son corrientes los niveles peligrosos para la conservación de la agudeza auditiva.

Para la disminución del ruido se puede recurrir, según los casos, a dos procedimientos:

- Reducir la potencia sonora emitida mediante recursos constructivos, es decir, mediante cerramientos adecuados en las máquinas, o, si esto no es posible, mediante apantallados parciales, móviles o no.
- En el caso de no poderse realizar estas medidas, sólo queda la posibilidad de reducir el nivel sonoro mediante el aumento del área de absorción equivalente o, lo que es lo mismo, mediante la reducción del tiempo de reverberación.

La eficacia conseguida en la reducción de nivel se puede calcular con la expresión indicada anteriormente: Siendo:

$$\Delta L = 10 \log \frac{A}{A_0}$$

A₀ = Área de absorción equivalente antes del tratamiento.

A = Área de absorción equivalente después del tratamiento.

$$A = \frac{S_1 \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m}$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

A = Área absorbente del local [m²].

S = Suma de las superficies que limitan el local, [m²].

α_m = Coeficiente de absorción medio de las superficies que limitan el recinto.

S₁, S₂ ..., S_n = Superficies que limitan el recinto, [m²].

α₁, α₂ ..., α_n = Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

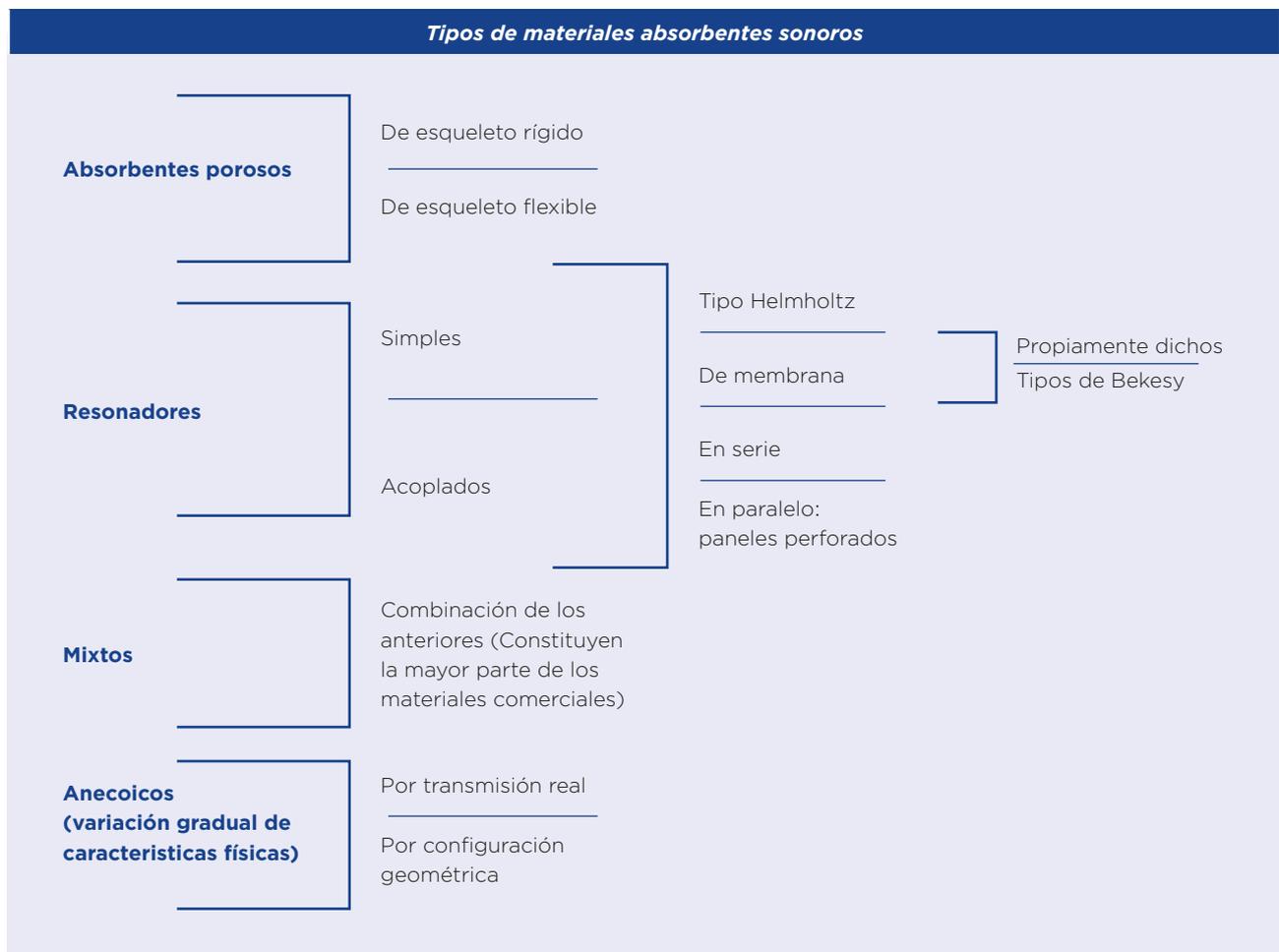
2.3.5. Materiales absorbentes sonoros

Son todos aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles.

Dependiendo de las propiedades físicas del material, los materiales absorbentes se pueden dividir en los siguientes:

Los más típicos, y desde luego los únicos, de entre los considerados aquí, con características de verdadero material absorbente, son los materiales porosos. Siendo el resto siendo, dispositivos o estructuras absorbentes. Los materiales porosos están constituidos por un medio sólido (esqueleto), recorrido por cavidades más o menos tortuosas (poros) comunicadas con el exterior.

La degradación de la energía acústica se produce por fricción viscosa del fluido en el seno de estas cavidades.



Desde el punto de vista del comportamiento acústico, conviene distinguir entre materiales de esqueleto rígido y flexible. En los primeros el coeficiente de absorción aumenta con la frecuencia, mientras que en los segundos se presentan resonancias (máximos) de absorción a frecuencias bajas y medias.

Los resonadores; como su propio nombre indica, producen la absorción de energía acústica mediante un proceso de resonancia. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente, en una banda de frecuencias determinada.

Los absorbentes anecoicos, también llamados dispositivos de absorción con variación progresiva de las características físicas, hacen uso del hecho por el que la reflexión de una onda acústica se produce cuando encuentra una variación de las características físicas del medio en que se propaga. Con la variación gradual de éstas, se pretende reducir al mínimo el obstáculo que presenta el material. Con estas absorbentes se logran coeficientes de absorción a incidencia normal superiores al 99%, a partir de una determinada frecuencia llamada de corte. Su utilización es específica en cámaras anecoicas. En la práctica son tres los materiales o sistemas utilizados:

- Materiales porosos.
- Resonadores de placa.
- Resonadores de Helmholtz.

Materiales porosos

Los materiales porosos están constituidos por una estructura que configura una elevada cantidad de intersticios o poros, comunicados entre sí. Los materiales de estructura fibrosa como las lanas minerales se ajustan exactamente a esta configuración. Al incidir una onda acústica sobre la superficie del material, un importante porcentaje de la misma penetra por los intersticios; haciendo entrar en vibración a las fibras, con lo que se produce una transformación en energía cinética de parte de la energía acústica. Por otra parte, el aire que ocupa los poros entra en movimiento; produciéndose unas pérdidas de energía por el rozamiento de las partículas con el esqueleto, que se transforma en calor.

Como quiera que la sección de que dispone la onda acústica está limitada por el esqueleto o elemento sólido; se comprende que el comportamiento del material dependerá de la porosidad del mismo. Efectivamente, la elevada absorción acústica de los materiales constituidos por fibras de vidrio o roca es explicable a su elevada porosidad que puede rebasar el 99%.

No obstante, como quiera que los espesores de capa que normalmente se utilizan es muy limitada, por problemas de espacio y costo, la absorción acústica con materiales porosos es muy elevada a las altas frecuencias y limitada a las bajas. Efectivamente, para obtener un grado de absorción del 99%, es necesario un espesor de aislamiento para una determinada frecuencia; equivalente a $\lambda/4$ (λ longitud de onda).

Resonadores de placa

Los resonadores de placa consisten en una placa u hoja que vibra sobre un colchón de aire. Si la placa es suficientemente grande y no demasiado rígida, la fuerza de retroceso vendrá definida por la rigidez de la capa de aire.

El grado de absorción de estos resonadores depende de las pérdidas internas del material de placa u hoja y de las pérdidas en puntos de sujeción. Dicho grado de absorción es más bien limitado a la frecuencia de resonancia del sistema y puede aumentarse rellenando el espacio de aire con un material absorbente de lana mineral. El material absorbente introducido en la cámara, amortigua las vibraciones reflejadas en la pared rígida, detrás de la placa y que no permiten la vibración completa de ésta, dando lugar en su ausencia a una reducción de la energía absorbida y, por tanto, del valor del coeficiente de absorción.

Resonadores de Helmholtz

La constitución de los resonadores de Helmholtz es en esencia la misma que los resonadores de placa, con la diferencia de que la placa u hoja va provista de perforaciones. Al igual que en los resonadores de placa, debe perforarse el espacio de aire, a fin de evitar la propagación de sonido paralela a la placa. El tamaño de las perforaciones debe ser pequeño en comparación con la longitud de onda del sonido a amortiguar.

Con este tipo de resonadores se consigue, para un espesor limitado, un elevado grado de absorción para la gama de frecuencias medias. La amortiguación en este caso está determinada por el rozamiento del aire con las paredes de las perforaciones, acompañado de un desprendimiento de calor. Como en caso de los resonadores de placa, el relleno del espacio de aire con un material poroso a base de lana mineral aumenta el grado de absorción.

2.3.6. Propiedades acústicas de las lanas minerales

Las lanas minerales empleadas en industria contribuyen a la protección frente al ruido. Las características que definen su comportamiento acústico, vienen determinadas por:

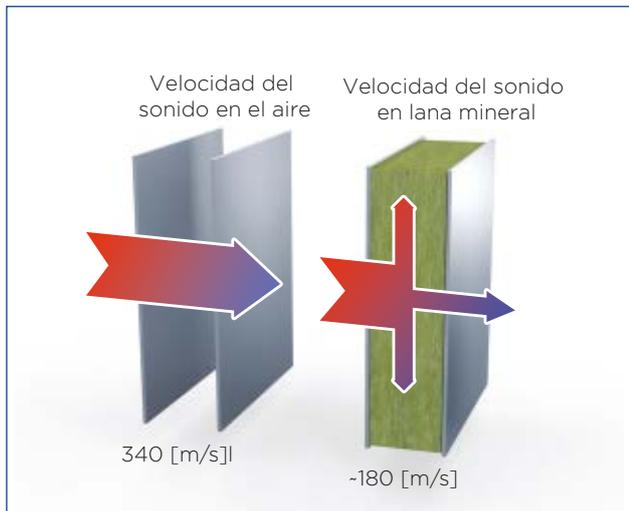
- Resistencia al flujo del aire, r [$\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$].
- Rigidez dinámica, s' [MN/m^3].
- Absorción acústica, α_s (adimensional).

En el ámbito de las aplicaciones industriales, la capacidad de absorción acústica es una característica indispensable. Gracias a la naturaleza de su estructura abierta y elástica, las lanas minerales ISOVER ofrecen unas prestaciones acústicas óptimas.

2.3.6.1. Resistencia al flujo del aire, r

“La resistencia al paso del aire, es un parámetro útil para estimar la absorción acústica y los posibles flujos internos de convección en el material aislante”.

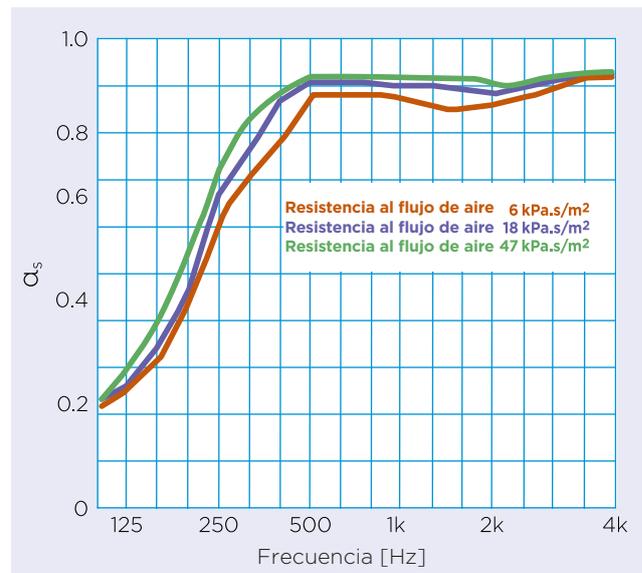
Es una propiedad intrínseca a todos los materiales absorbentes que permite determinar la idoneidad del comportamiento acústico del material. Es la capacidad de reducir la energía acústica transmitida, disminuyendo la velocidad del sonido dentro de la lana mineral:



La resistencia al flujo del aire representa el resultado de la fricción producida entre los filamentos de la lana mineral y las partículas de aire en su interior. Esta propiedad dependerá fundamentalmente de la longitud y el diámetro de los filamentos de las lanas minerales, los cuales determinan su comportamiento acústico.

El valor óptimo de la resistividad al paso del aire debe estar entre 5-50 $\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (el comportamiento acústico a igualdad de espesor es similar), por debajo de 5 $\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, el aislante no proporcionará amortiguación acústica suficiente, y por encima de 50 $\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, la transmisión del ruido será preponderantemente por vía sólida por tratarse de material excesivamente rígido.

La resistividad al paso del aire, r , se determina mediante el ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN 29053, requerida a los productos que rellenan las cámaras.

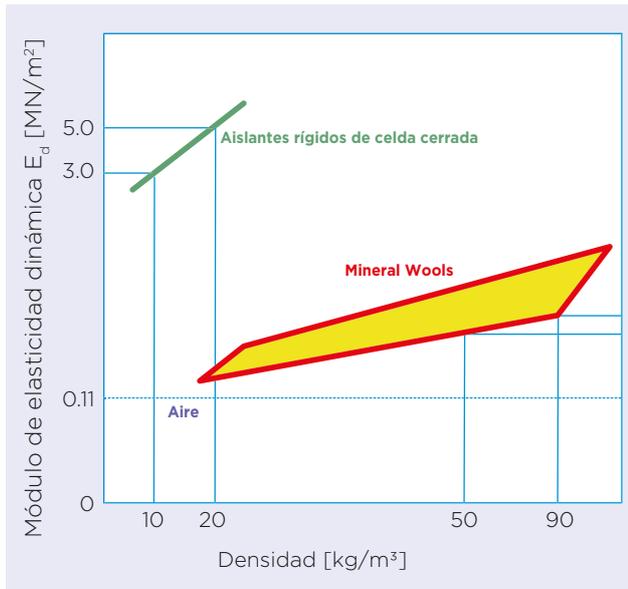


Resistencia al flujo de aire (DIN EN 29053) $\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$			
ULTIMATE		Lana de roca	
24 - 30 [kg/m^3]	≥ 13	30 - 50 [kg/m^3]	≥ 5
40 - 50 [kg/m^3]	≥ 30	70 [kg/m^3]	≥ 18
60 - 70 [kg/m^3]	≥ 48	100 [kg/m^3]	≥ 25
80 - 100 [kg/m^3]	≥ 70	120 [kg/m^3]	≥ 35

2.3.6.2. Rigidez dinámica, s'

Es la capacidad de las lanas minerales de actuar como muelle, amortiguando el ruido y las vibraciones.

“La rigidez dinámica es necesaria para los cálculos de ruido y vibraciones”.



$$s' = \frac{Ed}{d}$$

S' = Rigidez dinámica del material [MN/m³].

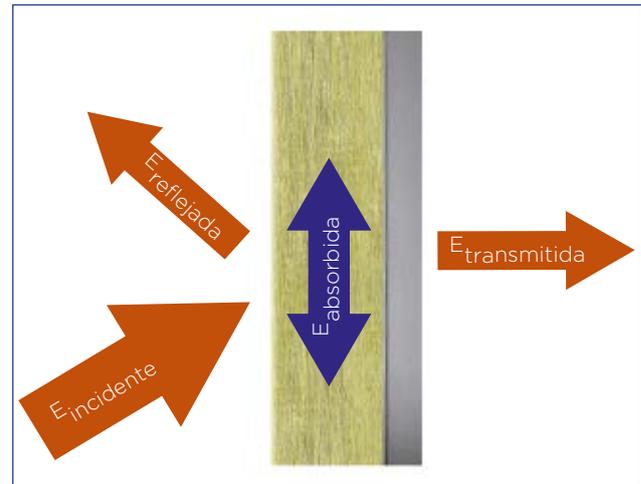
Ed = Módulo de elasticidad dinámica [MN/m²].

d = Espesor del material [m].

La rigidez dinámica, s' , se determina mediante el ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN 29052-1, requerida a los productos que se utilizan en suelos flotantes y bandas elásticas.

2.3.6.3. Absorción acústica, α o α_s

Como ya vimos anteriormente se conoce por absorción, al fenómeno debido al cual, una parte de la energía acústica que incide sobre una superficie es absorbida transformándose en calor.



Cuando un frente de onda llega a un parámetro vertical que separa dos recintos, parte de la energía incidente es reflejada por el paramento, otra parte de esta energía es absorbida y finalmente el resto atraviesa el paramento. La energía sonora incidente, E_i , responderá al siguiente balance energético (principio de conservación de energía):

$$E_i = E_a + E_r + E_t$$

Donde:

E_i es la energía incidente;

E_a es la energía absorbida por el paramento;

E_r es la energía reflejada;

E_t es la energía transmitida;

Dividiendo miembro a miembro la anterior expresión entre E_i , tenemos que:

$$1 = \alpha + r + t$$

Donde:

$\alpha = E_a/E_i$ es el coeficiente de absorción acústica, es adimensional y se expresa en tanto por uno o en tanto por ciento (adimensional);

$r = E_r/E_i$ es el coeficiente de reflexión acústica (adimensional);

$t = E_t/E_i$ es el coeficiente de transmisión o de transmisibilidad acústica (adimensional);

Por lo tanto, α representa la cantidad de energía incidente que dicho material es capaz de absorber; es adimensional y en los materiales porosos depende de varios parámetros:

- Resistencia al flujo del aire.
- Frecuencia del sonido.
- Porosidad (volumen aire/volumen total).
- Tortuosidad (geometría de la estructura del material).
- Espesor.

El coeficiente de absorción acústica de los materiales se mide en una cámara de reverberación para una frecuencia dada (según la norma de medida UNE-EN-ISO 354) y se denomina **coeficiente de absorción "Sabine"** o práctico, se representa como α o α_s .

Por su propia definición, el coeficiente de absorción acústica:

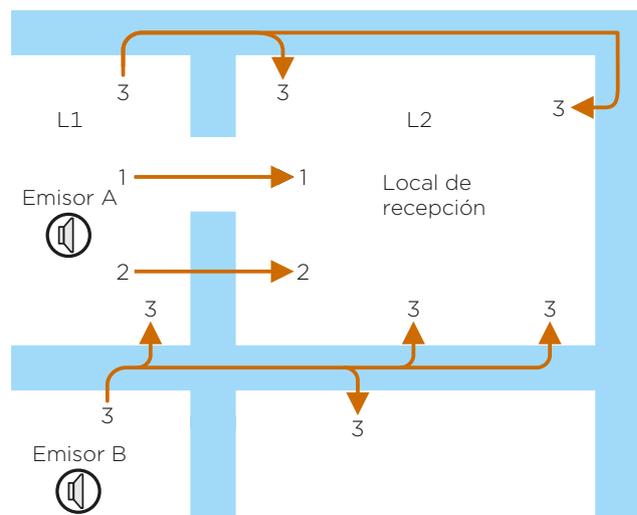
- Es un parámetro acústico que está comprendido entre 0 y 1.
- Los materiales tradicionales de construcción (acero, hormigón), tienen coeficientes de absorción muy bajos (tienden a reflejar casi toda la energía acústica que reciben).
- Las lanas minerales presentan coeficientes de absorción muy elevados y se caracterizan por el hecho de que la naturaleza de su superficie, permite que la energía sonora penetre a través de los poros del material.

La absorción acústica, α_s , se determina mediante el ensayo realizado de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 354, requerida a los productos que se utilizan como absorbentes acústicos.

2.3.7. Aislamiento acústico

El aislamiento acústico consiste en impedir su propagación por medio de obstáculos. Siempre que se trata de lograr un gran factor de reflexión hay que interponer en el camino del sonido un medio cuya impedancia Z sea lo más diferente posible a la del medio que conduce el sonido; por tanto, es lógico tratar por un lado el aislamiento del sonido en el aire u otro medio gaseoso (baja impedancia) y, por otro, el aislamiento en sólidos (alta impedancia). El sonido transmitido por el aire es lo que normalmente se llama ruido aéreo, y así lo denominaremos en adelante. Si colocamos una barrera entre dos locales para conseguir un aislamiento al ruido aéreo, la transmisión del ruido de un local a otro se puede realizar por distintos caminos; como se ve en la siguientes figuras.

Caminos de transmisión de ruido



a) Por vía directa (2), que se puede descomponer en dos causas principales.

- La porosidad a través de fisuras e intersticios.
- El efecto de diafragma, es decir, flexión bajo el efecto de la presión sonora, como en una membrana.

b) Por vías indirectas, como conductos (1) y paredes adyacentes (3).

Hay diversos índices normalizados para cuantificar el aislamiento a ruido aéreo. Veamos los más usados:

Aislamiento acústico (D): Es la diferencia de niveles de presión acústica que existe entre el nivel acústico del local donde está la fuente (local emisor) y el del local donde se recibe el sonido (local receptor). Se determina in situ mediante la expresión:

$$D = L_1 - L_2 \quad \text{dB}$$

Este valor puede corresponder a una sola frecuencia, a una banda de frecuencia o al espectro total de frecuencias.

Aislamiento acústico normalizado (Dn):

Es la diferencia de niveles de presión acústica entre el local emisor y el receptor; pero teniendo en cuenta la influencia que, sobre el nivel, ejerce la reverberación. En el local receptor, si existe una reverberación elevada, el valor del nivel acústico L_2 es mayor que el que cabría esperar debido al aislamiento producido por la pared, con lo que el aislamiento acústico se reduce. Lo contrario ocurrirá en el caso de elevada absorción: baja reverberación. Para tener en cuenta esta incidencia, se efectúa una corrección de los resultados considerando que un recinto posee un tiempo de reverberación de referencia de 0,5 segundos, o, según otra normativa, un área de absorción equivalente de 10 m².

Por tanto, el aislamiento acústico normalizado, para una frecuencia determinada entre dos recintos, se calcula in situ mediante la expresión:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5} \quad \text{dB}$$

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{10}{A} \quad \text{dB}$$

siendo:

T = Tiempo de reverberación del local receptor para la frecuencia considerada.

A = Área de absorción equivalente del local receptor para la frecuencia considerada.

Índice de reducción acústica (R)

Este índice se determina mediante medidas en laboratorio y se define como:

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad \text{dB}$$

siendo W_1 y W_2 las potencias acústicas incidentes sobre la muestra y transmitida por ella. En el caso de campo acústico difuso, que es como se ensaya en el laboratorio, se puede evaluar por la fórmula:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad \text{dB}$$

siendo:

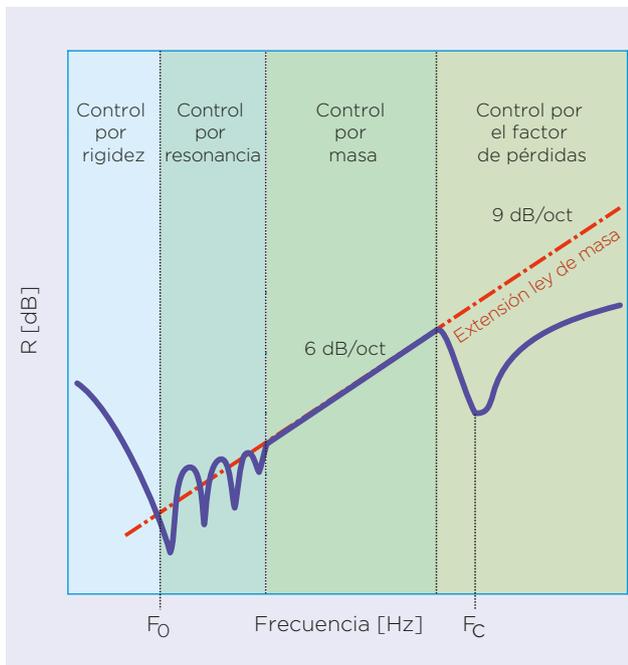
S = Superficie de la muestra a ensayar [m²].

A = Área de absorción equivalente de la sala de recepción [m²].

2.3.7.1. Aislamiento a ruido aéreo de particiones simples de una hoja

El índice de reducción acústica al ruido aéreo de un elemento constructivo R, es función de varias magnitudes físicas, tales como la frecuencia del sonido incidente, la masa del elemento constructivo, la rigidez de la partición, las frecuencias de resonancia y el efecto coincidencia.

Para particiones simples de una hoja se pueden distinguir cuatro zonas de distinto comportamiento en la gráfica del índice de reducción acústica en función de la frecuencia.



Zona controlada por la rigidez

A bajas frecuencias el aislamiento a ruido aéreo está controlado por la rigidez de la partición. Cuanto mayor es la rigidez, menor es el aislamiento a ruido aéreo.

La frecuencia natural de una pared homogénea bien determinada por la expresión:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m'}}$$

s = rigidez de la pared por unidad de superficie.
m' = masa de la pared por unidad de superficie.

Para $f < f_0$;

$$R = 20 \log s - 20 \log f - 20 \log 4\pi\rho c$$

El aislamiento está determinado por la rigidez elástica y decrece 6 db/octava con el aumento de la frecuencia. Si la hoja es ligera, el aislamiento viene dado por:

$$R = 20 \log \frac{\rho_1 c_1}{4\rho_2 c_2}$$

Zona controlada por la resonancia

La pared tiene muchos modos propios de vibración correspondientes a las frecuencias de resonancia, estas frecuencias dependen de las dimensiones, de la rigidez y de la masa por unidad de superficie, Las frecuencias de resonancia para una partición simple finita vienen dadas por la expresión:

$$f = kh \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \left[\left(\frac{p}{a}\right)^2 + \left(\frac{q}{a}\right)^2 \right] \text{ Hz}$$

Donde p, q = 1,2,3.; y a, b son las dimensiones de la partición; ν es coeficiente de Poisson, en la mayoría de los casos es 1/3, k es un coeficiente numérico que depende del modo de fijación de los bordes de la partición. K= 0,43 para bordes soportados; k= 0.86 para bordes encastrados. Predomina f_{11} , valores grandes de a y b reducen f_{11} .

Zona controlada por la masa

A partir de valores de frecuencia superiores al doble de la frecuencia de resonancia f_{11} e inferiores a la frecuencia crítica, el aislamiento está controlado por la masa y la frecuencia y viene dado por las siguientes expresiones:

- a) Ley de masa de incidencia normal
Angulo de incidencia de 0° .

$$R_{(\varphi=0)} = 20 \log(m'f) - 42$$

- b) Ley de masa a incidencia aleatoria.
Para ángulos entre 0° y 90° .

$$R \cong R(0) - 10 \log[0.23R(0)]$$

- c) Ley de masa a incidencia de campo.
En la práctica es más aproximado a lo real, la expresión de aislamiento a ruido aéreo con ángulos de incidencia de 0° a 78° , incidencia de campo, y es dado por:

$$R = R(0) - 5 = 20 \log(m'f) - 47$$

De aquí se pueden deducir las siguientes consideraciones:

El índice de reducción acústica aumenta 6 dB por octava (aumenta 6 dB al doblar la frecuencia). Es decir, siempre será mucho más fácil aislar las altas frecuencias que las bajas. Esto tiene la ventaja adicional de que el oído humano es menos sensible a las bajas frecuencias, pero es nefasto en cuanto a las resonancias estructurales que en la edificación son importantes para bajas frecuencias, creando grandes amplificaciones que resultan difíciles de aislar.

El índice de reducción acústica aumenta 6 dB al duplicarse la masa superficial del panel. Esto nos llevaría a que para conseguir un buen aislamiento deberían ser las paredes lo más gruesas posible. Esto, que es lógico desde un punto de vista acústico, no lo es constructivamente. Este grosor se puede sustituir en cierto modo mediante paredes múltiples, lo cual suele dar un resultado muy aceptable.

Zona controlada por la coincidencia

En el aire, el sonido se propaga mediante ondas longitudinales y su velocidad es la misma para todas las frecuencias. Cuando en un sólido se produce una deformación forzada localizada, se originan ondas libres que se propagan por todo el sólido. Si la partición de una hoja es lo suficientemente delgada, se producen ondas de flexión, que al contrario que otros tipos de ondas, se propagan con una velocidad en función de la frecuencia. Existirá por tanto una frecuencia crítica en la que se cumpla que la longitud de onda del sonido en el aire coincida con la longitud de onda de la flexión. Esto es conocido como efecto coincidencia. La frecuencia crítica de coincidencia se define como la menor frecuencia a la que se produce el efecto coincidencia y corresponde con un ángulo de incidencia de 90° .

Los elementos de la partición son solicitados por dos ondas, la onda aérea incidente, y la onda de flexión. La traza de la onda aérea avanza por la partición con una velocidad $c/\sin\theta$ y la onda de flexión con una velocidad C_f . Cuando las dos velocidades a lo largo de la partición son iguales, los efectos se acumulan y existe una gran radiación de energía por la partición. La pérdida de aislamiento a ruido aéreo es importante en un intervalo de frecuencia, algo por encima de la frecuencia de coincidencia. La disminución de aislamiento depende del factor de pérdidas de cada material, η .

$$\lambda_f = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

Si la longitud de onda del sonido en el aire es mayor que la longitud de la onda de flexión en la partición, no puede haber efecto coincidencia, pues la función seno no puede ser mayor a la unidad. En el caso de una partición de una hoja homogénea la velocidad de propagación de las ondas de flexión, c_f , viene dada por:

$$c_f = c \sqrt{\frac{f}{f_c}}$$

c es la velocidad del sonido en el aire, f la frecuencia considerada y f_c es la frecuencia crítica de la partición.

La frecuencia crítica de la partición se obtiene a partir de la expresión:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi d} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{E}}$$

d es el espesor de la partición; ρ es la densidad del material de la partición; E, el módulo de Young y ν el coeficiente de Poisson.

Para frecuencias superiores a la crítica, el aislamiento a ruido aéreo se puede calcular mediante la expresión.

$$f < f_c$$

$$R = 20 \log(m'f) + 10 \log \eta + 10 \log \frac{f}{f_c} - 44$$

donde m' es la masa de la partición por unidad de superficie, η es el factor de pérdidas de la partición.

2.3.7.2. Aislamiento a ruido aéreo de particiones dobles.

Una partición doble está constituida por dos particiones simples separadas por un espacio, relleno o no de material absorbente. Para aumentar el aislamiento entre dos recintos sin incrementar mucho la masa, uno de los procedimientos consiste en dividir la partición en dos hojas separadas una distancia.

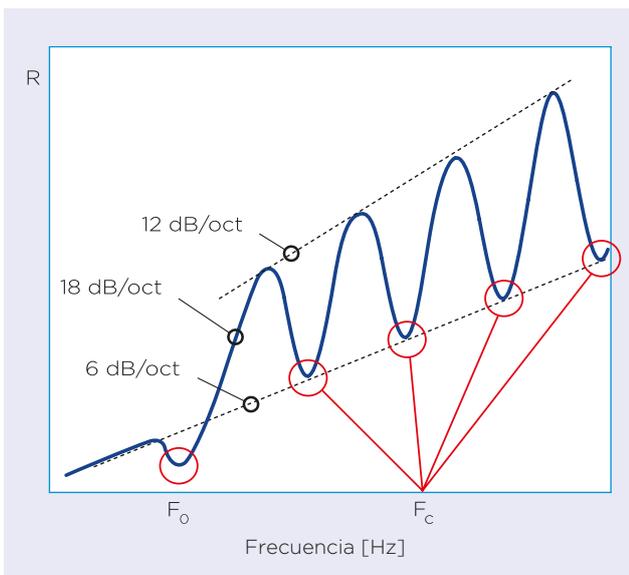
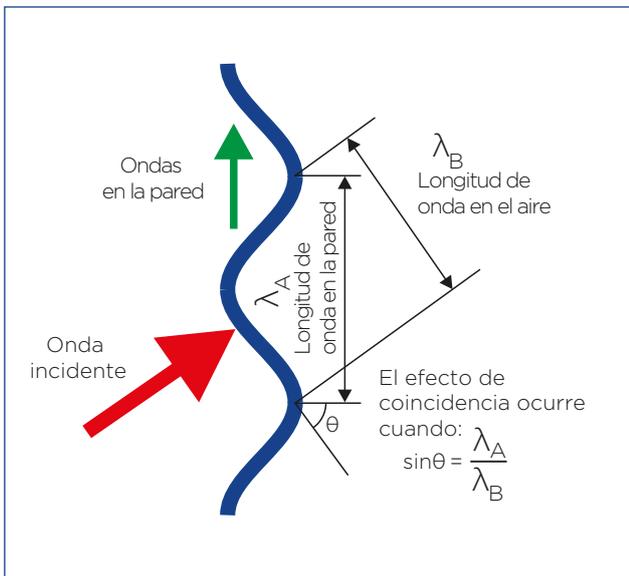
Cuando las ondas sonoras del recinto emisor inciden sobre la primera hoja, ésta se excita y transmite al aire situado en la cavidad entre hojas una vibración, que a continuación incide sobre la segunda hoja, y esta a su vez transmite energía sonora al recinto receptor.

Los factores a tener en cuenta en el aislamiento a ruido aéreo de particiones dobles, son las frecuencias críticas de las hojas y la frecuencia de resonancia del sistema. Se debe evitar que las dos hojas tengan la misma frecuencia crítica. En este caso tendrá un importante descenso de aislamiento en la banda de la frecuencia crítica.

Una partición doble con aire en la cavidad se comporta como un sistema mecánico masa-muelle-masa. El sistema tiene una frecuencia de resonancia cuando las ondas inciden perpendicularmente a la partición. Se obtienen mediante la expresión:

$$f_{rs} = 600 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

d es la separación entre las hojas en centímetros, m'_1 y m'_2 son las masas superficiales de las paredes en kg/m^2 . Cuando las ondas inciden aleatoriamente la frecuencia de resonancia se obtiene multiplicando el valor anterior por 1,4.



Si la frecuencia del sonido incidente es mayor que la frecuencia de resonancia del sistema, el aislamiento de la partición doble es mejor que el de una partición simple de la misma masa. En la práctica hay que lograr que la frecuencia de resonancia del sistema esté por debajo de 80 Hz.

Frecuencias de resonancia de la cavidad

En la cámara de aire existente entre las dos hojas, las ondas sonoras se propagan y se reflejan sobre las caras internas de las mismas y se originan ondas estacionarias. A las frecuencias de resonancia la presión sonora en la cavidad aumenta y se transmite más sonido por las hojas de la partición, el aislamiento de la partición presenta un mínimo.

Para ondas planas que se propagan en dirección normal a la partición, la frecuencia de resonancia de la cavidad se obtiene mediante la expresión:

$$d = n \frac{\lambda}{2}; \lambda = \frac{2d}{n}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{cn}{2d} = \frac{170n}{d}$$

$n = 1, 2, 3, \dots$, d en metros. En general, únicamente las frecuencias de resonancia de la cavidad para $n = 1$ y 2 son perjudiciales para el aislamiento de la pared doble. Hay que lograr que las frecuencias de resonancia de la cavidad superen los 4.000 Hz.

Influencia de la colocación de material absorbente en la cavidad

La colocación de material absorbente en la cavidad modifica el acoplamiento acústico entre las dos hojas de la partición. El material absorbente es más rígido que el aire y la frecuencia de resonancia del sistema es mayor. El material absorbente en la cavidad elimina la frecuencia de resonancia de la cavidad y aumenta el aislamiento a ruido aéreo de la partición doble.

2.3.7.3. Aislamiento a ruido aéreo de particiones mixtas

Lo habitual es que las particiones de los recintos estén compuestas por elementos constructivos diferentes, caracterizados por aislamientos a ruido aéreo distintos. Por ejemplo, cabina acústica con una puerta y visor acústico. El aislamiento a ruido aéreo global de la partición mixta, puede estimarse a partir de la siguiente expresión:

$$R_g = -10 \log \frac{\sum_i S_i 10^{-0.1R_i}}{\sum_i S_i}, \text{ dB}$$

Si es el área del elemento constructivo i (en m^2), y R_i es el aislamiento a ruido aéreo del elemento constructivo i .

Un caso particular de una partición mixta es una pared con una ventana, con superficies S_c y S_v , aislamientos R_c y R_v , respectivamente, y siendo el área total $S_t = S_c + S_v$. El aislamiento global mixto sería:

$$R_g = -10 \log \left[\left(\frac{S_v}{S_t} \right) 10^{-0.1R_v} + \left(\frac{S_c}{S_t} \right) 10^{-0.1R_c} \right], \text{ dB}$$

Si consideramos que β , es la relación entre la superficie de la ventana y la superficie total, el aislamiento a ruido aéreo global de la partición mixta sería:

$$\beta = \frac{S_v}{S_t}; R_g = -10 \log [\beta 10^{-0.1R_v} + (1 - \beta) 10^{-0.1R_c}]$$

Se puede comprobar que el aislamiento a ruido aéreo de la partición mixta viene condicionado por el aislamiento a ruido aéreo de la ventana, y es como máximo 10 dB mayor, que dicho aislamiento de la ventana.

3. Control de ruido

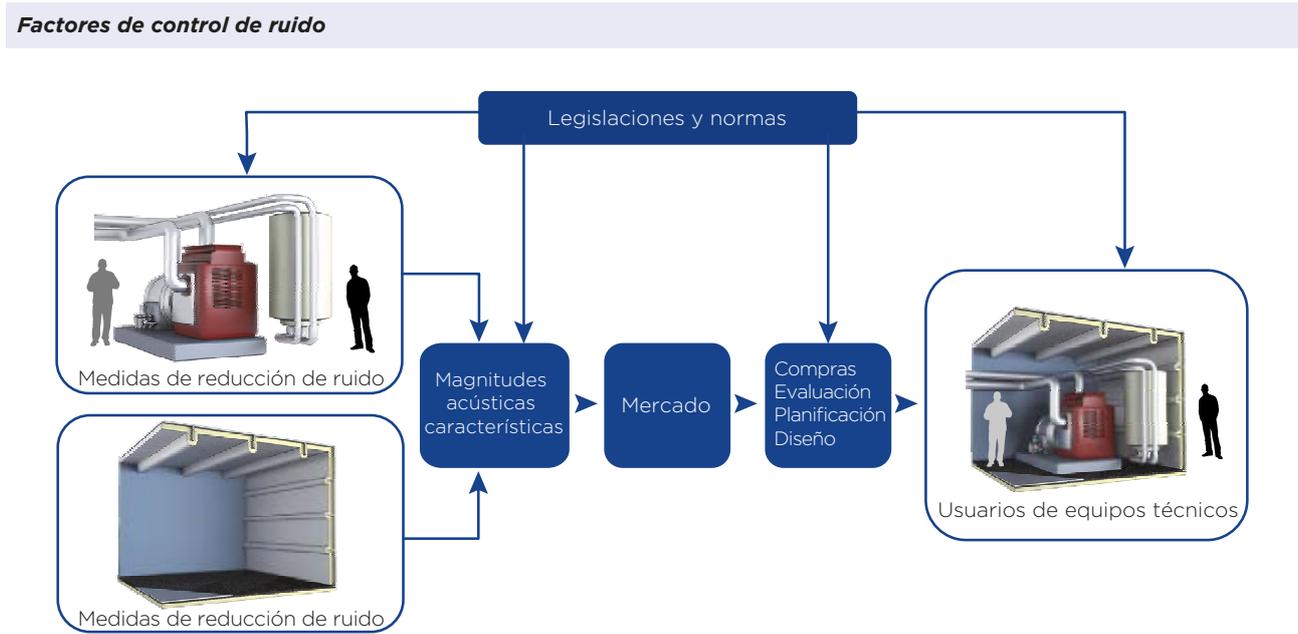
3.1. Principios de control de ruido

Con el progreso tecnológico más reciente en el campo de la seguridad y la higiene en el ámbito laboral, es inconcebible diseñar una instalación industrial sin tener en cuenta las soluciones adecuadas de atenuación acústica. El diseño de tales soluciones se basa en los conceptos de aislamiento y atenuación del sonido ya descritos anteriormente. A continuación, se analizarán todos los sistemas de control de ruido en relación con la solución práctica de los problemas de altos niveles de ruido, señalando los principios generales que apoyan al diseñador en la adopción de un tipo específico solución.

En este sentido, se pueden utilizar las recomendaciones de ISO 11690 "Acústica: Práctica recomendada para el diseño de lugares de trabajo con bajo nivel de ruido que contienen maquinaria.". Este estándar se divide en tres secciones:

1. Estrategias de control de ruido. ISO 11690-1.
2. Medidas de control de ruido. ISO 11690-2.
3. Propagación del sonido y predicción de ruido en recintos de trabajo. ISO 11690-3.

Las medidas de control de ruido se pueden aplicar en la fuente, en la ruta de transmisión y en el área de recepción. El siguiente gráfico esquemático representan este aspecto, que también indica el tipo de soluciones aplicables.



Control del ruido en Industria			
Control del ruido en la fuente	Control del ruido en el camino de propagación		Control del ruido en el receptor
Selección y uso de procesos de trabajo con bajo nivel de ruido	Ubicación de la fuente	Aislamiento de vibraciones	Cabinas protección personal
	Cerramientos	Suelos flotantes	Pantallas acústicas
	Silenciadores	Construcción de juntas en elementos constructivos	Protección individual
Selección y uso de maquinaria con bajo nivel de ruido	Tratamientos absorbentes		Limitación de la exposición
	Pantallas acusticas		
	Particiones, etc.		

3.1.1. Control de ruido en la fuente

Las medidas descritas en esta sección se refieren a la reducción del ruido generado por los procesos y máquinas en funcionamiento. Deben implementarse en la etapa de diseño, ya que las medidas retroactivas pueden afectar los requisitos operativos y generalmente son más costosas. El control del ruido en la fuente en los lugares de trabajo se ocupa en particular de la reducción del ruido de las máquinas existentes, el desarrollo y selección de procesos de trabajo con bajo ruido y tecnologías de producción, la sustitución de piezas de la máquina y la evaluación de los resultados obtenidos.

Control de ruido en la fuente en diseño

Al considerar el ruido producido por una máquina, se deben distinguir dos tipos de generación de ruido:

- 1) La generación de ruido dinámico (gas y/o líquido) y la generación mecánica. El ruido de los fluidos dinámicos surge de fluctuaciones temporales en la presión y velocidad de los fluidos. Algunos ejemplos son los procesos de combustión, los ventiladores, las aberturas de escape y los sistemas hidráulicos.
- 2) El ruido generado mecánicamente es causado por las vibraciones de los componentes de la máquina que son excitadas por las fuerzas dinámicas generadas por impactos o masas desequilibradas. Estas vibraciones se transmiten a otras superficies que irradian ruido. Algunos ejemplos de ruido mecánico son las ruedas dentadas, los motores eléctricos, los martillos, los agitadores y las prensas mecánicas.

Para controlar el ruido en la fuente, se debe tener en cuenta el mecanismo de generación de ruido.

Los ejemplos para la reducción del ruido fluidodinámico son los siguientes:

- a) Reducción de las fluctuaciones periódicas de presión en la fuente de excitación.
- b) Reducción de las velocidades de flujo.
- c) Evitar cambios repentinos en la presión.
- d) Diseño eficaz de componentes para conseguir un flujo continuo.

Los ejemplos para la reducción del ruido mecánico son los siguientes:

- a) Reducción de las fuerzas dinámicas excitantes (por ejemplo, equilibrando con masas adicionales).
- b) Reducción de la energía de vibración de la estructura de la máquina en el punto de excitación para una fuerza dinámica dada (Ejemplo: por medio de rigidizadores o masas adicionales llamadas bloques de inercia).
- c) Reducción de la transmisión de vibración (sonido transmitido por la estructura) desde el punto de excitación a las superficies emisoras de sonido (Ejemplo: mediante el uso de elementos elásticos y materiales con alta amortiguación interna o utilizando juntas flexibles para conexiones de tuberías).
- d) Reducción del sonido irradiado por una superficie vibrante (Ejemplo: mediante el uso de paredes delgadas con nervios en lugar de paredes gruesas y rígidas, capas de amortiguación en láminas metálicas delgadas, láminas de metal perforadas y siempre que no se requiera aislamiento acústico).
- e) Encapsulados acústicos o estructuras de paneles acústicos (ejemplo: cerramientos acústico o láminas de metal amortiguadas delgadas cerca de la superficie radiante).

Información del ruido emitido por maquinaria

Además de la información existente en la documentación técnica sobre la emisión de ruido de la maquinaria ofrecida por los proveedores / fabricantes de la maquinaria, pueden existir otras medidas específicas para los sectores industriales, que se pueden encontrar en bases de datos, revistas profesionales, revistas de asociaciones comerciales, etc.

Para algunas familias o tipos de máquinas, existen listas de datos de valores de emisiones de ruido obtenidos bajo condiciones de operación específicas. Estas listas pueden ayudar a los compradores a seleccionar máquinas y equipos con baja emisión de ruido. La información relativo a las emisiones de ruido que debe proporcionar el proveedor de maquinaria se muestran en las diferentes directivas de la CE.

Hay dos directivas principales que tratan los estándares que la maquinaria debe cumplir: la directiva 98/37 desde el punto de vista de la seguridad y la directiva 2000/14 desde el punto de vista de la emisión de ruido ambiental.

El primero requiere que la maquinaria se diseñe y fabrique, considerando también la minimización de la emisión de ruido propagada por el aire. Además, se exige que, en los manuales de instrucciones de la maquinaria, las prescripciones en relación con la instalación y el montaje estén orientadas a reducir el nivel de ruido.

Asimismo, es obligatorio mostrar el nivel de potencia acústica continua equivalente ponderado A en las áreas de trabajo cuando sea superior a 70 dB (A), el valor máximo del nivel de presión ponderado C instantáneo sea superior a 130 dB, y el nivel de potencia acústica producido con un nivel de presión sonora equivalente ponderado A sea superior a 85 dB (A) en las áreas de trabajo.

Respecto a las mediciones, la directiva indica que la medición acústica se realizará con el procedimiento más adecuado, informando al cliente de las condiciones de funcionamiento y del método utilizado para la medición. Cuando no se define la ubicación de las áreas de trabajo, las mediciones se llevarán a cabo a una distancia de 1 m de la superficie de la máquina y a una distancia de 1,6 m de altura sobre el nivel del suelo o plataforma de acceso.

La Directiva 2000/14 es mucho más exhaustiva que la anterior y sustituye a un grupo de directivas previamente existentes que se aplicaron a máquinas ubicadas al aire libre. Esta directiva exige "que las máquinas muestren el marcado CE y la información del nivel de potencia acústica garantizada, y que estén acompañadas por una declaración CE de conformidad". La directiva distingue dos tipos de máquinas: aquellas cuyo nivel de potencia sonora no debe sobrepasar un límite dado (ver la tabla a continuación) y aquellas que solo deben mostrar su nivel de potencia sonora, sin estar limitadas. En esta directiva, se discuten los requisitos administrativos para la certificación y métodos de medición válidos.

El nivel de potencia acústica L_w se usa como un parámetro común para caracterizar el ruido, por lo que sería necesario calcular los niveles de presión sonora a partir de dicha potencia para conocer el ruido emitido a una distancia determinada.

Tipo de máquina	Potencia neta instalada P (en kW) Masa del aparato m en kg Anchura de corte L en cm	Niveles de potencia acústica admisibles en dB/I pW	
		Fase I a partir del 3 de enero de 2002	Fase II a partir del 3 de enero de 2006
Máquinas compactadoras (rodillos, planchas vibratorias, apisonadoras vibratorias)	$P \leq 8$	108	105
	$8 < P \leq 70$	109	106
	$P > 70$	$89 + 11 \log P$	$86 + 11 \log P$
Topadoras sobre oruga, cargadoras sobre oruga, palas cargadoras de oruga	$P \leq 55$	106	103
	$P > 55$	$87 + 11 \log P$	$84 + 11 \log P$
	$P \geq 55$	104	101
Topadoras, cargadoras y palas cargadoras sobre ruedas, motovolquetes, niveladoras, compactadoras de basuras tipo cargadoras, carretillas elevadoras en voladizo accionadas por motor de combustión, grúas móviles, máquinas compactadoras (rodillos no vibrantes), pavimentadoras, generadores de energía hidráulica	$P > 55$	$85 + 11 \log P$	$82 + 11 \log P$
Palas, montacargas para el transporte de materiales de construcción, tornos de construcción, motoazadas	$P \leq 55$	96	93
	$P > 55$	$83 + 11 \log P$	$80 + 11 \log P$
Trituradores de hormigón y martillos picadores de mano	$m \leq 55$	107	105
	$15 < m < 30$	$94 + 11 \log m$	$92 + 11 \log m$
	$m \geq 30$	$96 + 11 \log m$	$94 + 11 \log m$
Grúas de torre		$98 + \log P$	$96 + \log P$
Grupos electrógenos de soldadura y de potencia	$P_{el} \leq 2$	$97 + \log P_{el}$	$95 + \log P_{el}$
	$2 < P_{el} \leq 10$	$98 + \log P_{el}$	$96 + \log P_{el}$
	$P_{el} > 10$	$97 + \log P_{el}$	$95 + \log P_{el}$
Motocompresores	$P \leq 55$	99	97
	$P > 55$	$97 + 2 \log P$	$95 + 2 \log P$
Cortadoras de césped, máquinas para el acabado del césped y recortadoras de césped	$L \leq 50$	96	94
	$50 < L \leq 70$	100	98
	$70 < L \leq 120$	100	98
	$L > 120$	105	103

3.1.2. Control de ruido en el camino de propagación

Las soluciones más efectivas para la reducción del ruido emitido por máquinas, instalaciones, tuberías etc como sistemas de control de ruido en el camino de propagación pueden ser tales como tratamientos absorbentes, cerramientos acústicos, silenciadores, pantallas acústicas, sistemas de aislamiento de vibraciones y sistemas de control activos entre otros.

La eficacia de las medidas de control de ruido mediante el uso de cerramientos, silenciadores o pantallas puede medirse y evaluarse mediante la medición de pérdida de inserción, la pérdida de transmisión y la reducción del nivel de sonido (véase ISO 11690-1: 1990, EN ISO 15665, ISO 7235, ISO 11691, ISO 15667, ISO 11957, ISO 17624, UNE EN 14388 entre otras).

3.1.3. Control de ruido en el receptor

Para poder realizar acciones de control de ruido en el receptor es necesario conocer primeramente los límites de exposición al ruido en la zona estudiada y promover acciones tales como instalación de cerramientos acústicos (cabinas de protección personal) o el uso de protecciones auditivas.

Límite de exposición al ruido

La Directiva 86/188 / CEE, transferida a la legislación de cada país de la UE, fija los límites de la exposición de los trabajadores al ruido, medidos por el nivel de exposición diaria (LEP, d).

Muy a menudo, los trabajadores están expuestos a diferentes niveles de ruido durante sus trabajos diarios.

Esto originará diferentes niveles sonoros equivalentes dependiendo del tiempo de exposición y de los niveles sonoros existentes en cada área de trabajo. En este caso, la exposición diaria se calcula sumando (suma logarítmica) los diferentes niveles equivalentes.

La directiva muestra el uso de sistemas de gestión para reducir la exposición al ruido. Un ejemplo, muy útil para todas las industrias, es estudiar las cifras de exposición al ruido (dB (A) / tiempo parcial). Esto permite:

- Establecer la influencia de cada fuente de sonido diferente sobre la exposición total al ruido del trabajador.
- Tomar decisiones con respecto al interés de atenuar o reducir los niveles sonoros de una fuente de acuerdo con su influencia sobre la exposición total al ruido del trabajador.
- Determinar "buenas prácticas" durante la realización del trabajo (con mucha frecuencia, es posible trabajar alejado de la fuente de ruido si el trabajador ha sido informado sobre esta posibilidad).
- Optimizar el uso de protectores auditivos. A veces es difícil usarlos para toda la tarea (es decir, durante 8 horas). Es más fácil usarlos solo durante el tiempo en que se ejecutan tareas en zonas altamente ruidosas.

Los sistemas de control de ruido en el receptor más frecuentes son las cabinas de protección personal y las protecciones individuales tales como las protecciones auditivas.

3.2. Tratamientos absorbentes

Una ubicación optimizada de las máquinas en un recinto puede proporcionar una reducción sustancial del nivel de ruido en las áreas de trabajo. Esto es aplicable cuando se diseñan nuevas plantas e instalaciones, pero también se debe considerar para las plantas existentes cuando hay que incorporar una nueva maquinaria, o se realiza una distribución más idónea de la existente con el fin de reducir los niveles sonoros. Se puede obtener una reducción de ruido aumentando la distancia entre las fuentes de ruido y las áreas de trabajo. La relación entre la emisión de ruido de la máquina y el nivel de ruido en el área de estudio está determinada por las características de propagación del sonido. La propagación del sonido y, por lo tanto, las calidades acústicas de una sala están influenciadas por el tratamiento de las superficies (techo y paredes) con materiales que absorben el sonido que deberían seleccionarse en relación con el espectro de frecuencias del ruido. La atenuación obtenida por el uso de materiales absorbentes depende mucho del espesor. El ruido en una zona determinada está compuesto por el ruido directo de la fuente y ruido reflejado desde las superficies límites del recinto (suelo, paredes, techos, otros equipos, accesorios, etc.).

Los tratamientos absorbentes sobre las superficies límites reducen exclusivamente el ruido reflejado. Es posible evaluar la calidad acústica de un recinto y, por lo tanto, la efectividad de un tratamiento superficial utilizando las expresiones de reducción de niveles de presión sonora en función de la absorción de las paredes límites.

En general, el ruido industrial se encuentra en el rango de frecuencia entre 500 Hz y 2000 Hz. En tales situaciones, se deben lograr las siguientes reducciones en el nivel de presión acústica en relación con los recintos con paredes y techos duros:

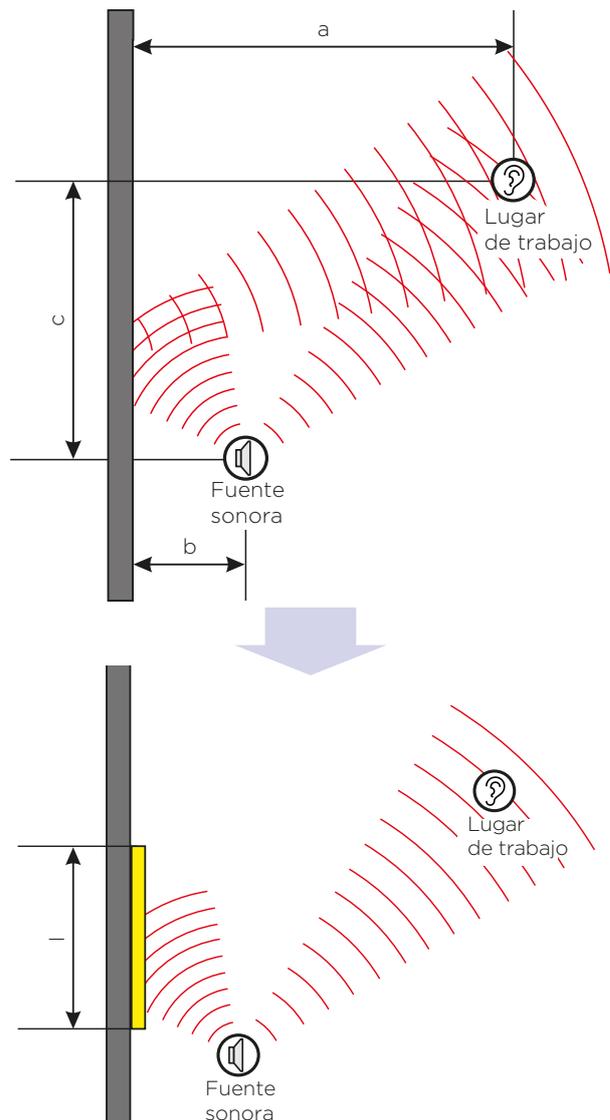
- En áreas cercanas a la fuente sonora, la reducción del nivel de presión sonora ponderada A está en el rango de 1 dB a 3 dB porque el tratamiento superficial tiene muy poca efectividad al estar cerca del campo próximo de la fuente.
- En áreas medio alejadas de la fuente sonora, esta reducción suele ser de entre 3 dB y 8 dB.
- En áreas alejadas a la fuente sonora, por lo general esta reducción puede estar entre 5 dB y 12 dB, dependiendo de las dimensiones de la sala y la extensión del tratamiento de la pared, techo o elementos absorbentes colgantes.

La combinación de tratamiento superficial y barreras acústicas es normalmente bastante eficaz y conduce a una reducción del nivel de ruido que es sustancialmente más alta que la obtenida con solo una de estas medidas. Además de la reducción del ruido, que se puede medir objetivamente, habrá una mejora subjetiva importante.

Se puede estimar la reducción del nivel de ruido para algunos casos simples y útiles, como puede ser máquina o área de trabajo cercana a una pared o a una esquina. En el caso de una máquina cerca de una esquina o pared, las siguientes ecuaciones pueden ayudar a pronosticar el nivel de sonido después del tratamiento. Esto es válido cuando no se deben tener en cuenta más máquinas o superficies.

Pared (máquina o área de trabajo cercana)

En el caso de una máquina cerca de una esquina o pared, las siguientes ecuaciones pueden ayudar a pronosticar el nivel de sonido después del tratamiento. Esto es válido cuando no existen más máquinas en la zona o superficies reflectantes cercanas. El caso típico consiste en una máquina cerca de una pared con áreas de trabajo más alejadas. La siguiente figura muestra cómo se puede obtener la reducción del sonido utilizando un revestimiento absorbente de la pared (En este caso: b = distancia máquina - pared, a = distancia lugar de trabajo - pared, l = longitud del forro en la pared):



Para este caso, una reducción de nivel de ruido en el área de trabajo da como resultado un material que tiene el coeficiente de absorción α_w de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = 3 - 10 \cdot \log (2 - \alpha_w)$$

Lo mismo es válido cuando el lugar de trabajo está cerca de la pared. (En este caso: b = distancia máquina - pared, a = distancia lugar de trabajo - pared, l = longitud del forro en la pared).

Esquina (máquina o área trabajo cercana)

La siguiente situación es bastante habitual (máquina en la esquina de un recinto con reflexión y área de trabajo a una distancia mayor). (En este caso: a_1, a_2 = distancias desde la máquina, b_1, b_2 = distancias desde el lugar de trabajo, c_1, c_2 = distancias como en la figura).

Para este caso, una reducción de nivel de ruido en el área de trabajo da como resultado un material que tiene el coeficiente de absorción α_w de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = 6 - 20 \cdot \log (2 - \alpha_w)$$

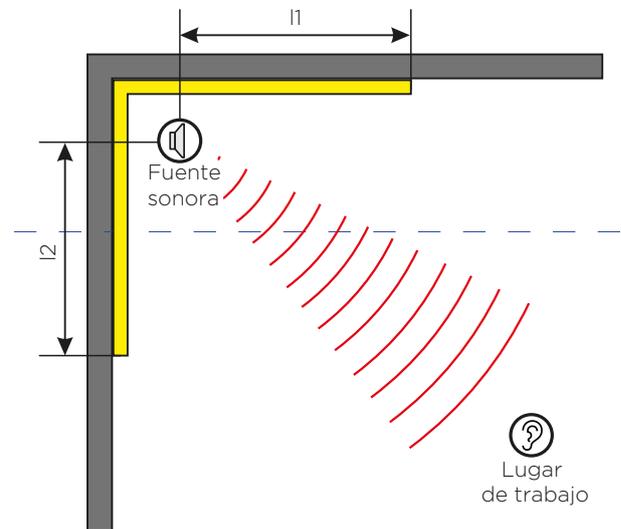
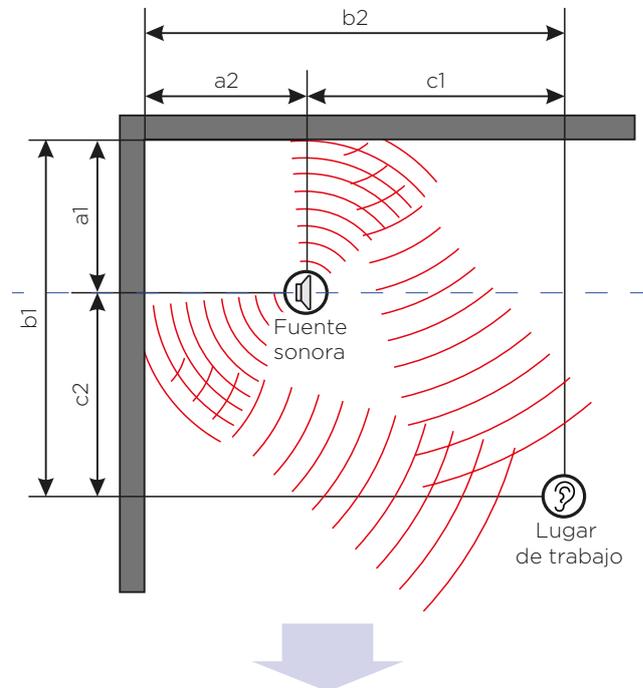
Cuando el lugar de trabajo está más cerca de la esquina que la máquina, el cálculo también es válido. (En este caso: a_1, a_2 = distancias desde el lugar de trabajo, b_1, b_2 = distancias desde la máquina, c_1, c_2 = distancias como en la figura).

En estos casos, se pueden aplicar las siguientes ecuaciones para determinar el α_w para los 4 casos anteriores:

$$\alpha_w = \frac{\sum_f \alpha_f \cdot 10^{0.1L_f}}{\sum_f 10^{0.1L_f}} \quad l = \frac{a \cdot c}{a + b} + k$$

donde L_f es el nivel de presión sonora en dB (A) a 1 m de distancia del área de trabajo, en octava o tercios de octava, α_f es el coeficiente de absorción del material absorbente en la banda de frecuencia.

k se calcula de $k \geq 170/f_u$, donde f_u [Hz] es la frecuencia más baja que influye en el nivel total de presión acústica A del espectro de ruido. En la mayoría de los casos, $k = 1$ (m).



Tratamientos absorbentes en recintos industriales

Para recintos industriales donde existan áreas de trabajo donde se tengan en cuenta varias fuentes sonoras y se puedan instalar tratamientos absorbentes tanto en paredes como en techo, y también exista la posibilidad de instalar paneles absorbentes suspendidos del techo, es posible estimar la reducción sonora mediante la reducción de la reverberación existente. Hay que tener en cuenta que esta reducción sonora será máxima en las cercanías a las paredes, o techos absorbentes y mínima en las cercanías de la fuente.

La eficacia conseguida en la reducción de nivel se puede calcular con la expresión indicada anteriormente:

$$\Delta L = 10 \log \frac{A}{A_0}$$

Siendo:

A_0 = Área de absorción equivalente antes del tratamiento.

A = Área de absorción equivalente después del tratamiento.

$$A = \frac{S_1 \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m}$$

...

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

A = Área absorbente del local [m^2]

S = Suma de las superficies que limitan el local, [m^2]

α_m = Coeficiente de absorción medio de las superficies que limitan el recinto.

$S_1, S_2 \dots, S_n$ = Superficies que limitan el recinto, [m^2]

$\alpha_1, \alpha_2 \dots, \alpha_n$ = Coeficiente de absorción de las diferentes superficies que limitan el recinto.

3.3. Ruido en conductos

Una vía típica de transmisión de ruidos aéreo la constituyen los sistemas de conductos de climatización y ventilación, así como los sistemas de aspiración y expulsión de aire en cabinas o cerramientos acústicos.

Las soluciones de amortiguación del sonido más frecuentes pasan por las técnicas de absorción acústica o el uso de silenciadores. Un conducto de suficiente longitud respecto a su sección puede atenuar el sonido en su interior de acuerdo a la siguiente expresión empírica:

$$\Delta L = 1.05 \cdot \alpha^{1.4} \cdot \frac{P}{S} \quad [dB/m]$$

siendo:

ΔL = Reducción sonora por unidad de longitud del conducto.

α = Coeficiente de absorción del material interior del conducto en α -Sabine

P = Perímetro interior del conducto, en [m]

S = Sección interior del conducto, en [m^2]

Podemos observar que cuanto mayor sea el valor de α , mayor será la atenuación acústica obtenida. La utilización de conductos de la familia CLIMAVER®, con valores notables de coeficiente de absorción, tendrán resultados excelentes en reducción sonora. Lo mismo ocurrirá en conductos metálicos revestidos de absorbentes tipo lana mineral. La geometría del conducto es determinante para la atenuación: conductos de pequeñas dimensiones relativas tendrán elevadas relaciones P/S . Por el contrario, conductos de grandes dimensiones tendrán bajas relaciones P/S , con una disminución de la atenuación acústica.

Un caso particular de ruido en conductos y de control de ruido en ellos son los silenciadores acústicos que se tratarán más adelante.

3.4. Cerramientos acústicos

En caso de altos niveles de ruido en las instalaciones industriales que crean problemas de seguridad e higiene (riesgo de pérdida de la capacidad auditiva) o comodidad de los trabajadores, la instalación cerramientos acústicos, cabinas de protección personal o pantallas o barreras acústicas son algunas de las soluciones más eficaces.

Como observación general, no se puede dar una sola recomendación sobre la solución más adecuada sobre los tres tipos de soluciones indicadas anteriormente. Esta decisión dependerá exclusivamente de las circunstancias que prevalecen en cada caso, tanto considerando el aspecto productivo como cualquier otra circunstancia.

Por esta razón, para elegir entre las diferentes soluciones de atenuación acústica deben tenerse en cuenta los siguientes factores: atenuación acústica, consideraciones económicas, estrés térmico, mantenimiento de maquinaria, accesibilidad, productividad, seguridad, iluminación, influencia de otros efectos físicos externos.

Por lo tanto, el tipo de solución de atenuación acústica más utilizada y recomendada desde el punto de vista industrial es el uso de cerramientos acústicos con paneles atenuadores de sonido desmontables del tipo "sandwich". De hecho, el concepto "panel de tipo sándwich" permite cambiar la composición del panel para obtener con precisión la propiedad de atenuación acústica requerida.

Dado que los paneles son desmontables, ofrecen algunas características deseables para el funcionamiento normal de la maquinaria: visibilidad (usando visores de vidrio acústico), accesibilidad y mantenimiento (ya que son desmontables), etc. Cuando nos referimos a un cerramiento desmontable, normalmente significa que la fachada completa se puede quitar. En los sistemas de paneles más técnicamente desarrollados, el desmontaje de cada unidad de panel es posible, facilitando la operación implícita. En el caso de que nos sea necesario desmontar los paneles acústicos por necesidades de mantenimiento de la maquinaria de su interior, es posible instalar cerramientos acústicos con paneles fijos, con puerta de acceso y pasillo interior alrededor de la maquinaria para su mantenimiento.

Las cabinas o cerramientos deben tener su propia ventilación, con puertas de acceso adecuadas, visores acústicos para ver en su interior y cualquier otro tipo de requisitos tales como entrada de cableado o penetraciones de tuberías. Estos equipamientos deben garantizar el correcto funcionamiento de la instalación o de la maquinaria existente en su interior. Cuando algunas de las partes del cerramiento está en contacto



1. Entrada/salida de aire de refrigeración atenuada de manera adecuada.
2. Ventana de inspección.
3. Entrada/salida por conductos de alimentación tratados.
4. Puerta para el personal (si es preciso).
5. Abertura de acceso (panel de bisagras).
6. Revestimiento interior de material absorbente.

con la maquinaria es importante la instalación de tratamientos antivibratorios y el sellado correcto de las penetraciones o elementos de cierre y juntas.

EN ISO 15667: 2000 "Acústica - Directrices para el control del ruido por medio de cerramientos y cabinas" se refiere al rendimiento de los cerramientos y cabinas para el control del ruido. En él se describen los requisitos acústicos y operacionales que han de acordarse entre el proveedor o el fabricante y el usuario de dichos cerramientos y cabinas.

- a) Cabinas o cerramientos para la protección contra el ruido de los operadores: cabinas aisladas fijadas a máquinas (por ejemplo, vehículos, grúas).
- b) Cabinas que cubren o alojan máquinas: los recintos con una fracción de área abierta acústicamente no tratada de menos del 10% de la superficie total son el principal objeto de esta norma internacional.

En la norma EN ISO 15667, se hace hincapié en las construcciones ligeras. Sin embargo, las estructuras de mayor espesor y con mayor masa, tales como paredes de obra civil como el ladrillo u hormigón no están excluidas.

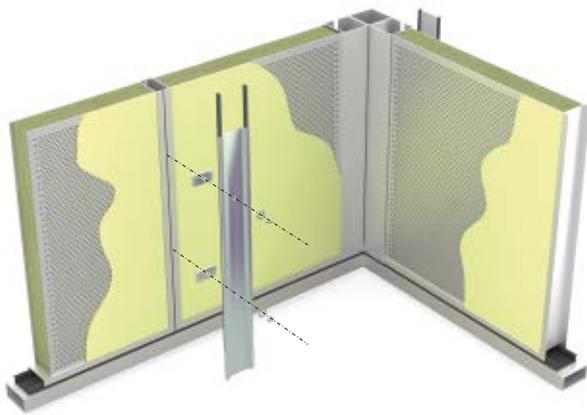
Los cerramientos o cabinas con más del 10% de área abierta y no tratada pertenecen a la categoría de recintos parciales. Pueden considerarse más como pantallas que como cerramientos.

Una forma de evaluar la efectividad de un cerramiento acústico es utilizar la pérdida de inserción D_e que se define y se puede calcular de la siguiente manera:

$$D_{e \text{ enclosure}} = \Delta L_{w \text{ enclosure}} = L_{w \text{ engine without enclosure}} - L_{w \text{ engine with enclosure}}$$

$$L_{w \text{ engine with enclosure}} = L_{w \text{ engine without enclosure}} + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right) - R + 10 \log S$$

donde A es el área de absorción equivalente del revestimiento del recinto en m^2 , R es la reducción / aislamiento acústico en dB del panel acústico del cerramiento y S es la superficie del recinto en m^2 .

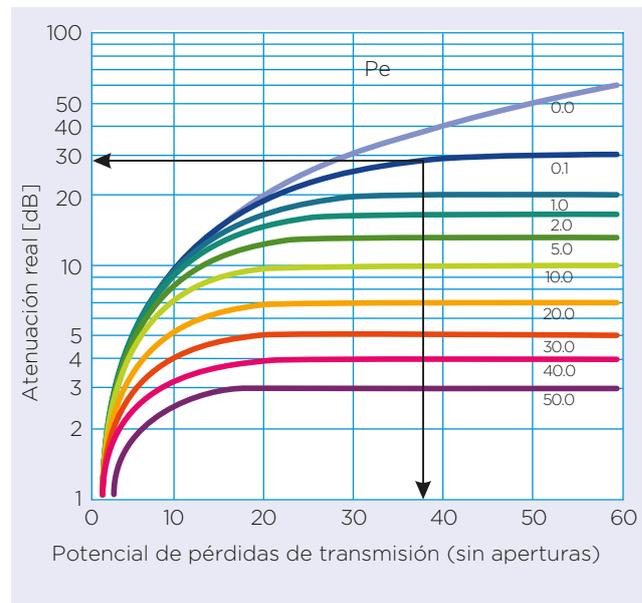


Es esencial cubrir la superficie interna del recinto con material absorbente de sonido. Un acabado habitual de los paneles sandwich, utilizados en la industria, es una hoja perforada (porcentaje de perforación superior al 33%) que cubre una capa de material altamente absorbente, como los productos de Lana Mineral de ISOVER.

Se debe prestar especial atención al control de vibraciones producida por la maquinaria. De hecho, es frecuente que la máquina genere altos niveles de vibración, que se transmiten al cerramiento acústico, originando una fuente adicional de ruido y, por lo tanto, reduciendo sus propiedades reales de reducción de ruido. Los paneles acústicos que forman el cerramiento acústico son estructuras "ligeras" en comparación con la maquinaria, actuando como paneles radiantes del ruido originado por las vibraciones. Por esta razón, se debe evitar las conexiones rígidas de estos paneles con la maquinaria, y en algunos casos deben diseñarse con características de amortiguación adecuadas para absorber el ruido estructural.

Tal y como se indica la figura siguiente, es necesario reducir las aberturas del cerramiento acústico a un mínimo para asegurar la efectividad real del cerramiento acústico. En este sentido, es necesario señalar la necesidad de utilizar silenciadores correctamente diseñados en las aberturas de ventilación, así como los visores y puertas acústicas, cuando sea necesario.

Estos elementos adicionales deberán tener al menos el mismo aislamiento acústico que los paneles acústicos que forman el cerramiento.



La mayoría de los cerramientos acústicos de maquinaria necesitan un sistema de ventilación para poder disipar y ventilar el calor producido en su interior y así evitar el sobrecalentamiento de las máquinas. Se pueden instalar sistemas de ventilación natural o ventilación forzada dependiendo de las necesidades de extracción de calor en el interior. Se debe tener en cuenta que en la instalación de ventilación forzada habrá que tener en cuenta los niveles de presión sonora producidos por los ventiladores como una fuente adicional de ruido del interior del cerramiento.

En el caso de recintos parciales, la combinación de todos los parámetros, que normalmente se manejan en estas construcciones de cerramientos acústicos, junto con la influencia especial de la geometría, el entorno y las superficies abiertas, hace muy difícil establecer un método que pueda predecir la atenuación sonora que se obtendrá, específicamente cuando contemplamos más superficies abiertas.

ISO 11957 da las reglas para determinar el aislamiento acústico de las cabinas mediante mediciones in situ. El término sugerido por esta norma es el aislamiento acústico (D_p), en octavas o tercios de octava, obtenido como:

$$D_p = (L_p)_{\text{room}} - (L_p)_{\text{cabin}}$$

donde L_p es la media de la presión sonora en dB, en la sala y en la cabina.

Conociendo el nivel de potencia sonora de la maquinaria, y conociendo el aislamiento acústico de la cabina D_p , se puede conocer el nivel de presión sonora en el exterior utilizando las siguientes expresiones:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$$R = \frac{S\alpha}{1-\alpha}$$

$$D_p = L_{\text{int}} - L_{\text{ext}}$$

siendo R la constante de la sala.

Se calcularía inicialmente el nivel de presión sonora en interior a partir de los datos de potencia acústica, Q, y R constante de la sala, para después calcular el L_{ext} con los datos de aislamiento del cerramiento considerado.



3.5. Pantallas acústicas

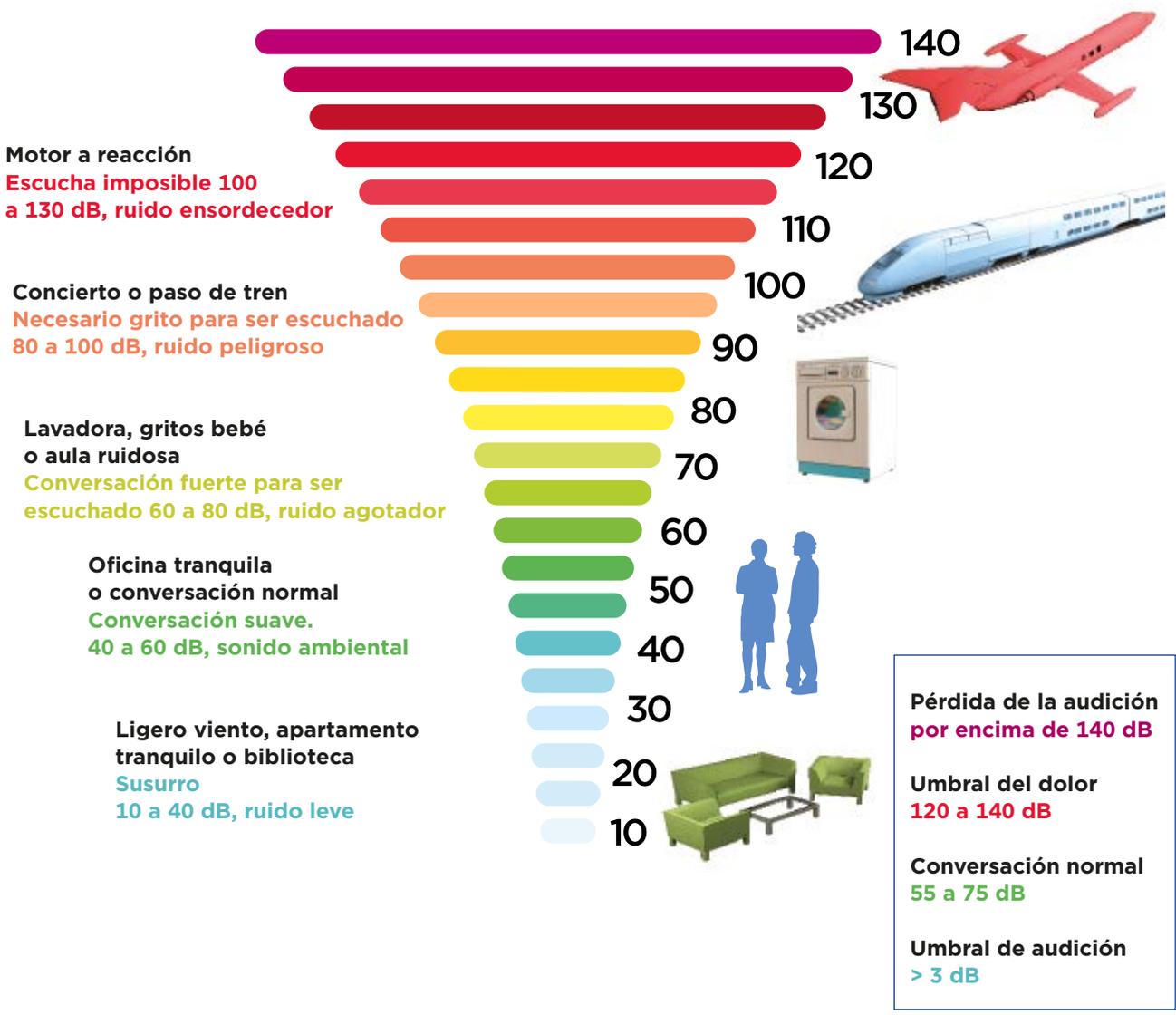
En mucha parte de los casos para reducir el ruido en el camino de propagación es colocar un obstáculo, llamado barrera o pantalla acústica. La colocación de barreras o pantallas acústicas de suficiente densidad (mínimo de 20 kg/m²) generan pérdidas energéticas en el camino de propagación entre la fuente y un observador. El valor de estas pérdidas no suele ser elevado (inferior a 20 dB). El cálculo de pantallas acústicas está basado en las teorías de difracción de Fresnel y en datos experimentales. Valores aceptables aproximados pueden obtenerse del gráfico de Maekawa adjunto. En el gráfico se observa que la atenuación acústica que ofrecen las barreras depende del número adimensional N, que relaciona la diferencia del camino que debe recorrer el sonido entre emisor (E) y receptor (R) antes

y después de la colocación de la barrera y la longitud de onda del sonido con las diversas frecuencias. Como es habitual en la acústica, las altas frecuencias son atenuadas más fácilmente que las bajas frecuencias.

Se pueden distinguir los tipos de barreras o pantallas acústicas: barreras infinitas y finitas.

Barreras Infinitas

En este caso la barrera no tiene por qué ser físicamente infinita, el que acústicamente reciba el nombre de barrera infinita significa que las contribuciones laterales son despreciables, es decir, que los extremos están lo suficientemente alejados tanto de la fuente sonora como del receptor como para que no contribuyan.



En este caso, y siempre para fuentes puntuales, la atenuación producida por una barrera viene dada por la aproximación de Kurze:

$$\Delta L = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh}\sqrt{2\pi N}} + 5 \quad N \geq -0.2$$

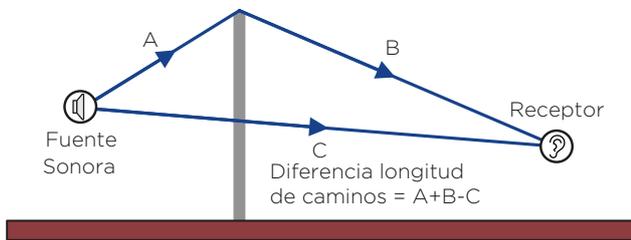
$$\Delta L = 0 \quad N < -0.2$$

donde N es el número de Fresnel

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d)$$

$$\delta = (A + B - d)$$

donde λ es la longitud de onda del sonido, del camino recto entre fuente y observador, A+B es el camino recorrido al salvar la barrera entre fuente y observador, + si el observador está en la zona de sombra y - si el observador está en la zona de luz.



En la zona de luz $N < -0.2$ la atenuación puede suponerse despreciable, mientras que en la zona de transición a la zona de sombra la atenuación puede suponerse de 0 a 5 dB. En la zona de sombra la atenuación puede oscilar en un rango de valores comprendido entre 5 d y 24 dB. Este límite práctico es el resultado de gran número de experiencias.

Además de esta formulación existen otras aplicables, entre estas presentamos la de más simplicidad permite calcular la atenuación mediante:

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta}} \right) \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

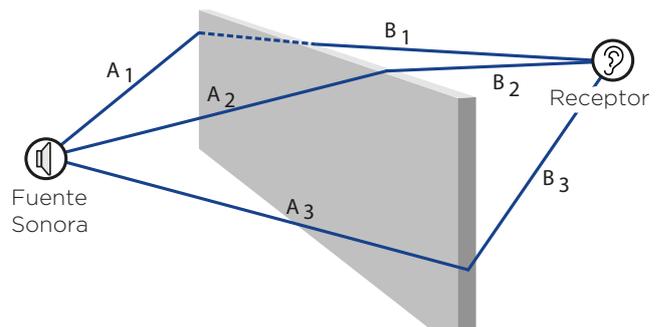
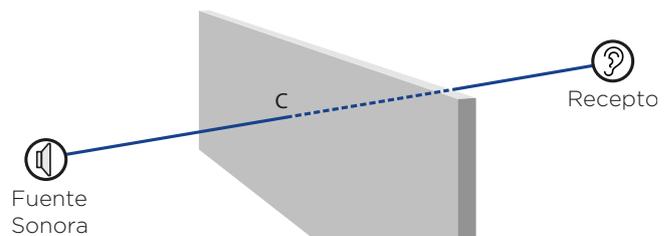
donde es la longitud de onda y λ la diferencia de caminos entre el directo y el difractado. Si en lugar de la longitud de onda λ se quiere utilizar la frecuencia f la relación entre ellas viene dada por la velocidad del sonido c .

Barreras Finitas

En este caso cada una de las aristas de la barrera difracta el sonido, es decir los laterales también deben considerarse. En este caso la atenuación de la barrera se puede calcular mediante:

$$\Delta L = 10 \log \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_i}} \right]$$

donde N es el número de caras que contribuyen al nivel sonoro en el receptor, λ la longitud de onda y δ_i la diferencia de caminos entre el directo y el difractado.



Diferencia longitud de caminos

$$\begin{aligned} &= A_1 + B_1 - C \\ &= A_2 + B_2 - C \\ &= A_3 + B_3 - C \end{aligned}$$

3.6. Silenciadores

3.6.1. Definiciones

Definición de silenciador.

Dispositivo que reduce la transmisión de sonido a través de un conducto, una tubería o una abertura sin impedir el transporte del fluido en el interior. Ver EN ISO 14163 "Acústica - Directrices para el control del ruido por silenciadores".

Silenciador absorbente:

Silenciador que proporciona una atenuación acústica de banda ancha con una pérdida de presión relativamente baja mediante la conversión parcial de la energía acústica en calor a través de la absorción en las paredes o baffles en conductos.

Silenciador reactivo:

Término general para silenciadores reflectantes o resonadores donde la mayor parte de la atenuación se consigue mediante reflexión en discontinuidades y cambios de sección.

Silenciador reflectante:

Silenciador que provoca reflexiones únicas o múltiples del sonido por cambios en la sección transversal del conducto, revestimientos de conductos con resonadores o ramificaciones a secciones de conducto con diferentes longitudes.

Silenciador Resonador:

Silenciador que proporciona atenuación acústica por resonancias débilmente amortiguadas en elementos. Nota: Los elementos resonadores pueden contener o no material absorbente.

Silenciador de descarga:

Silenciador utilizado en las líneas de purga de vapor y de liberación de presión que proporcionan una atenuación de sonido disminuyendo la velocidad de flujo en la salida.

Silenciador activo.

Silenciador que prevé la reducción del sonido a través de efectos de interferencia mediante el sonido generado por fuentes de sonido auxiliares controladas.

Silenciador adaptable pasivo:

Silenciador con elementos de atenuación de sonido pasivos dinámicamente ajustados al campo sonoro.

Pérdida de inserción D_i .

Diferencia entre los niveles de sonido que se propagan a través de un conducto o una abertura con y sin silenciador. La pérdida de inserción se expresa en decibelios, dB. Adaptado según ISO 7235.

Diferencia de nivel de presión de sonido de inserción D_{ip} .

Diferencia entre los niveles de presión sonora que se producen en un punto de inmisión, con y sin silenciador instalado. La diferencia de nivel de presión de sonido por inserción se expresa en decibelios, dB. Adaptado según ISO 11820.

Pérdida de transmisión D_t .

Diferencia entre los niveles de presión acústica incidentes y transmitidos a través del silenciador. La pérdida de transmisión se expresa en decibelios, dB. Para laboratorios de ensayo estándar, D_t es igual a D_i , mientras que los resultados para D_t y D_i obtenidos a partir de mediciones in situ a menudo pueden diferir debido a las limitadas posibilidades de medición.

Atenuación de discontinuidad D_s

La parte de la pérdida de inserción de una sección de silenciador o silenciador debido a discontinuidades. La atenuación de discontinuidad se expresa en decibelios, dB.

Pérdida de propagación D_a

Disminución del nivel de presión acústica por unidad de longitud que se produce en la sección media de un silenciador con sección transversal constante y diseño longitudinal uniforme, caracterizando la atenuación longitudinal del modo fundamental. La pérdida de propagación se expresa en decibelios por metro, dB / m.

Pérdida de reflexión de salida D_m .

Diferencia entre el nivel de presión acústica incidente sobre y transmitido a través del extremo abierto de un conducto. Nota: La pérdida de reflexión de salida se expresa en decibelios, dB.

Modos.

Distribuciones espaciales (o patrones de ondas estacionarias transversales) del campo sonoro en un conducto que se producen independientemente entre sí y sufren una atenuación diferente. El modo fundamental está menos atenuado. En conductos estrechos y absorbentes, los modos de orden superior tienen una mayor atenuación.

Frecuencia de corte.

Límite de frecuencia inferior para la propagación de un modo de orden superior en un conducto de pared rígida. La frecuencia de corte se expresa en hertzios, Hz.

Nota 1: En un conducto de sección circular, la frecuencia de corte para el primer modo de orden superior es $f_c = 0,57 c / C$, donde c es la velocidad del sonido y C es el diámetro del conducto. En un conducto rectangular con mayor dimensión H , $f_c = 0,5 c / H$.

3.6.2. Tipos de silenciadores, selección y principios generales

La selección de los silenciadores está determinada por:

- La reducción del nivel sonoro necesaria.
- La pérdida de presión admisible en el flujo de gas.
- El ruido de flujo causado por el silenciador.
- El espacio disponible para el silenciador.
- La durabilidad necesaria del silenciador cuando se somete a flujo, variaciones de presión, vibraciones mecánicas, calor, contaminación, humedad y corrosión.
- posibilidades de inspección y limpieza.

Los silenciadores se pueden subdividir en:

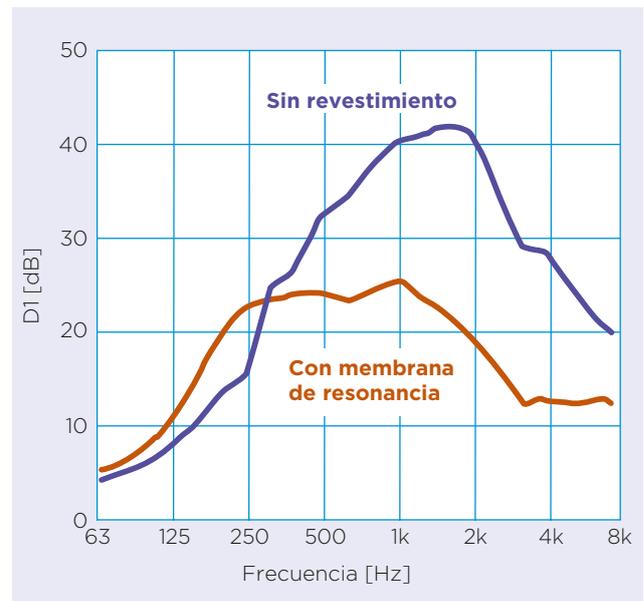
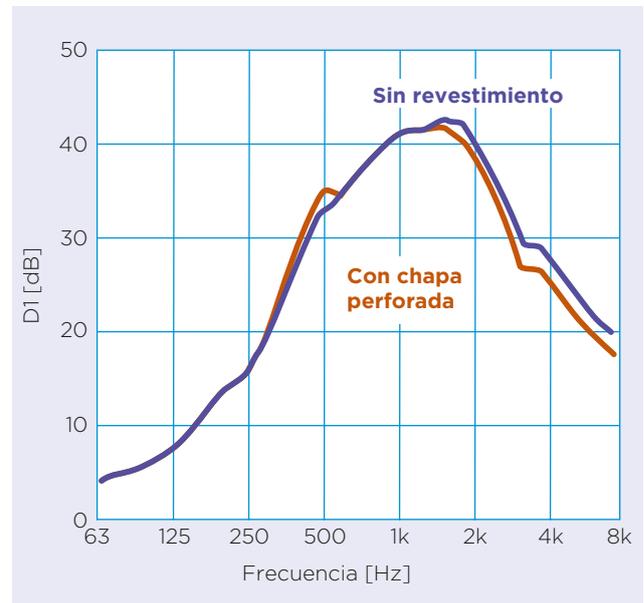
- Silenciadores de absorción.
- Silenciadores reactivos incluyendo resonadores y silenciadores reflectantes.
- Silenciadores de descarga.

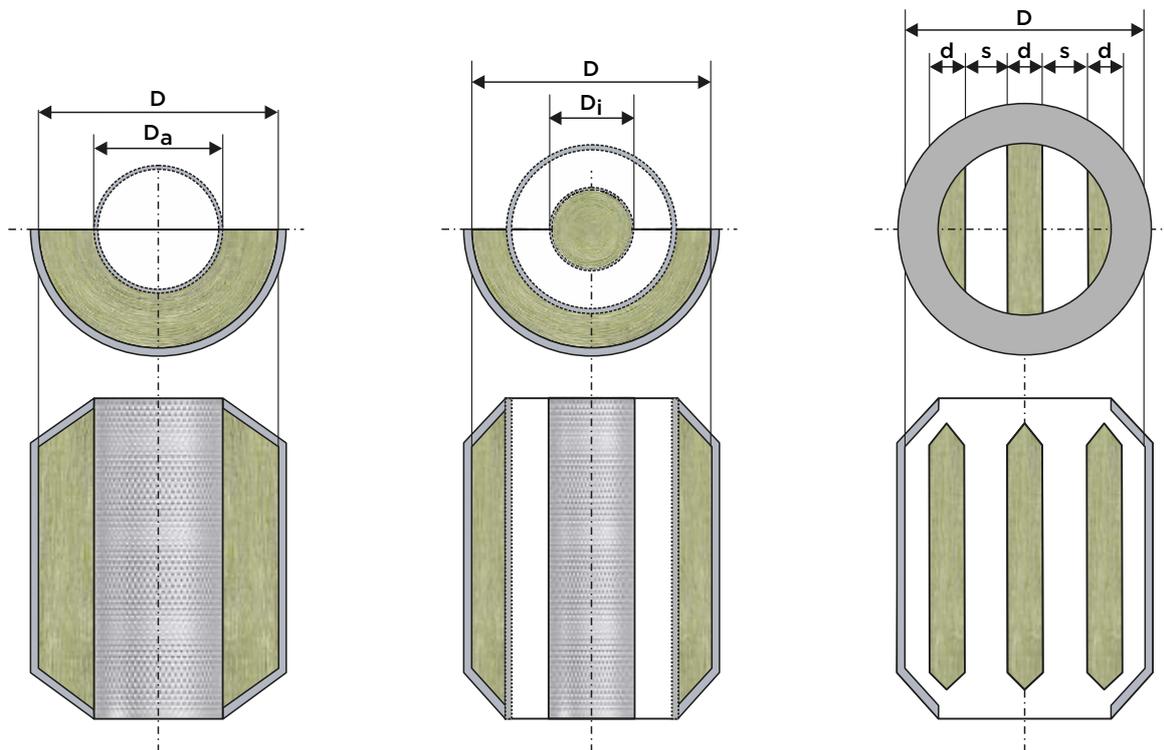
3.6.3. Silenciadores de absorción

Estos silenciadores permiten la atenuación de sonido de banda ancha mediante la conversión de energía sonora en calor a una pérdida de presión relativamente baja. Si se utilizan silenciadores de absorción en conductos para gases con contaminaciones polvorientas o para gases que tienden a causar incrustaciones, deben tomarse precauciones para evitar el atascamiento o la formación de película sobre la superficie del material absorbente.

Un simple silenciador de absorción es un conducto recto con revestimiento absorbente de sonido, de sección circular o rectangular y sin ningún accesorio. Para lograr una alta atenuación, el área de absorción del revestimiento de la pared debe ser lo más grande posible. Esto se consigue proporcionando una gran superficie de pared y grandes valores del coeficiente de absorción acústica.

Un alto coeficiente de absorción acústica sólo es posible cuando el grosor del revestimiento es por lo menos un octavo de la longitud de la onda sonora. Este criterio se puede cumplir en los silenciadores de absorción simples, incluso para frecuencias bajas, si se dispone de una sección transversal suficientemente grande en el lugar donde se va a instalar el silenciador. Cuando se deben cubrir grandes superficies de sección transversal, con frecuencia se utilizan silenciadores de deflectores con varios baffles. Configuraciones como ésta también suprimirán la formación de haz que limita la atenuación a frecuencias más altas y que se produce cuando la distancia entre las paredes supera la mitad de la longitud de onda del sonido.





Los revestimientos para las paredes absorbentes y los deflectores o baffles consisten en una o más capas de material absorbente y una cubierta permeable al sonido.

Como materiales absorbentes se utilizan principalmente lanas minerales.

Para cubrir los materiales absorbentes de lana mineral, se utiliza chapa perforada, chapa estirada o similar. Para condiciones de estrés mecánico moderado, el uso de lanas minerales es una práctica habitual.

Un material absorbente se caracteriza por su resistividad de flujo, cuyos valores óptimos varían entre 5 kPa s/m^2 y 50 kPa s/m^2 , cuanto mayor, más finas son las fibras y más pequeños los poros del material.

Las propiedades acústicas que determinan el grado de atenuación dependen de la magnitud y distribución de la resistividad del flujo en el absorbente y de la masa por unidad de superficie de la cubierta del material absorbente. En el caso de los absorbentes de banda ancha, la resistencia total del flujo no debe superar significativamente 1 kNs/m^3 , y la cubierta debe tener una masa de área notablemente inferior a $0,1 \text{ kg/m}^2$.

Esto se consigue utilizando chapa fina perforada, siendo la proporción de área de las perforaciones del 30% o más. Para aumentar la absorción a bajas frecuencias a expensas de la atenuación de alta frecuencia, se cubre con material de recubrimiento más pesado.

3.6.4. Silenciadores reactivos

Silenciadores de resonancia

Los resonadores individuales se montan como uniones en las paredes de los conductos. Los grupos de resonadores se montan en conductos como revestimientos de conductos o deflectores. Por lo tanto, causan una caída de presión limitada. Las resonancias se ajustan especialmente a las frecuencias bajas y medias que deben ser atenuadas. La eficiencia se limita a una banda de frecuencia estrecha, es sensible al flujo de contacto y puede (en ciertas condiciones desfavorables) ser negativa, por lo que se generará un ruido adicional.

Silenciadores reflectivos

Estos silenciadores reducen la conversión de las presiones y vibraciones de gas en energía acústica. Debido a su rigidez, se eligen normalmente para campos de aplicación en los que los silenciadores de absorción pura son menos apropiados y en los que se permiten mayores pérdidas de presión. Esto se aplica, por ejemplo, a flujos de gas con polvo, con velocidades de flujo más altas y variaciones de presión más altas y en áreas con fuertes vibraciones mecánicas. Los valores máximos de atenuación acústica se verán afectados en su altura y rango de frecuencia por el flujo. Posiblemente, en algunas bandas de frecuencia sólo se produce un ligero o incluso negativa atenuación acústica.

3.6.5. Silenciadores de descarga

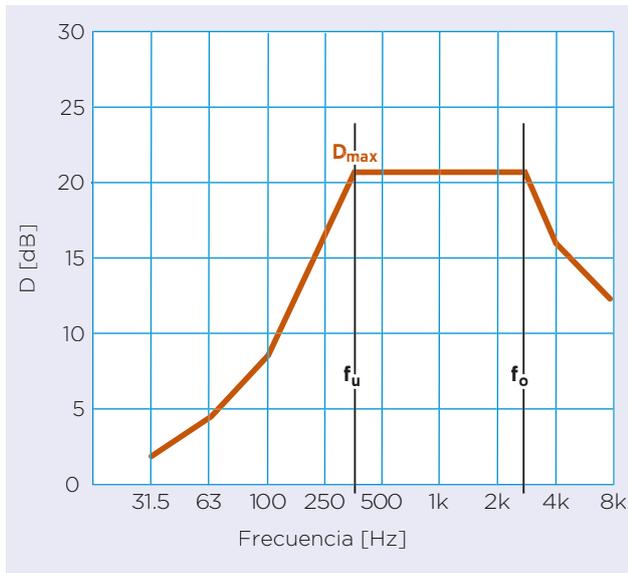
Éstos actúan por reacción contra la fuente de ruido, por ejemplo, una válvula, reduciendo la velocidad de descarga debido a un incremento de la superficie de descarga. Sin embargo, la conversión del sonido en calor es normalmente de poca importancia. Las altas pérdidas de presión requieren una alta resistencia mecánica del silenciador. La eficiencia puede verse afectada por las sustancias que se transportan junto con el gas.



3.6.6. Cálculos

Pérdidas de transmisión de un silenciador de absorción.

El siguiente cálculo es una estimación somera, pero está probado en la práctica. Existe una gran fiabilidad entre las mediciones y los cálculos más exactos, pero más caros, incluso en los rangos de frecuencia que a menudo son los más críticos.



Sea

$$D_c = L_{w \text{ without}} - (L_{w \text{ with}} + L_{w \text{ flow noise}})$$

Donde D_c es la pérdida por inserción en dB, $L_{w \text{ without}}$ es el nivel de potencia acústica sin silenciador, $L_{w \text{ with}}$ es el nivel de potencia con silenciador, y $L_{w \text{ flow noise}}$ es el nivel de potencia acústica generado por el flujo del fluido.

Sea D_{max} , las máximas pérdidas de inserción en dB entre las frecuencias f_u y f_o , siendo D_{max} según la expresión:

$$D_{\text{max}} = 1,5 \cdot \alpha \cdot \frac{P}{S} \cdot l$$

Donde α es el coeficiente de absorción (1 en el rango de D_{max}), P es el perímetro en la sección, S es la superficie de la sección, y l la longitud de los bafles o colisas.

La frecuencia f_u se determina por el ancho de las colisas, y f_o por el paso del aire:

$$f_u = \frac{c}{3 \cdot d} \qquad f_o = \frac{c}{s}$$

$$c = \sqrt{\frac{K P_{\text{stat}}}{\rho_{\text{Med}}}}$$

Donde c es la velocidad de sonido en el medio en m/s, d es el espesor de las colisas en m, s es ancho del paso del aire en m, K es el exponente adiabático, P_{stat} presión estática en N/m^2 y ρ_{Med} es la densidad del medio en Kg/m^3

Si $f_m \geq 250 \text{ Hz}$, entonces $D(f_m) = 0.6 \cdot D(f_m + 1)$

Si $f_m < 250 \text{ Hz}$, entonces $D(f_m) = 0.5 \cdot D(f_m + 1)$

Las pérdidas de inserción por debajo de f_o depende de la absorción del material y se puede determinar por:

$$D(f_m) = 0.7 \cdot D(f_m - 1)$$

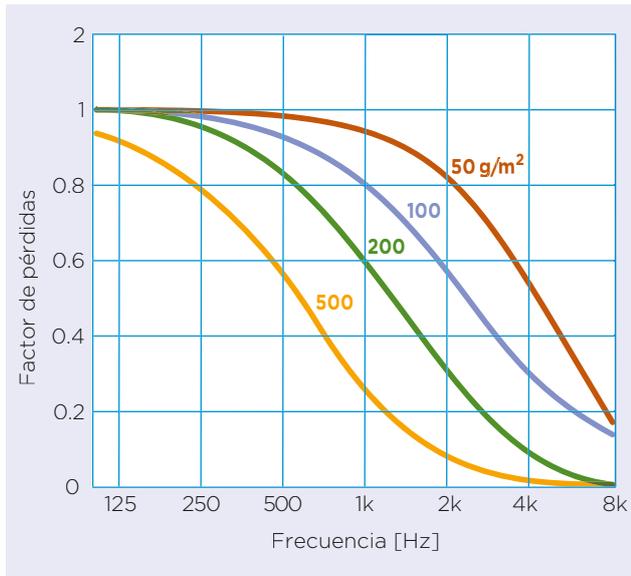
Donde $D_{(f_m)}$ son las pérdidas y f_m la frecuencia central de la banda de octava.

Estos cálculos son válidos para silenciadores de absorción con recubrimiento de material absorbente, es decir, colisas de lana mineral con una densidad de 80 kg/m^3 a 100 kg/m^3 .

La relación $\frac{\theta d}{\rho c}$

debe estar entre 2 y 6, mientras hay que considerar la dependencia de la temperatura con la resistencia de flujo. También por razones de resistencia, las barreras transversales deben montarse cada 500 mm a 700 mm. El recubrimiento en los bafles o colisas no debe ser demasiado pesado y debe poseer una buena permeabilidad al sonido.

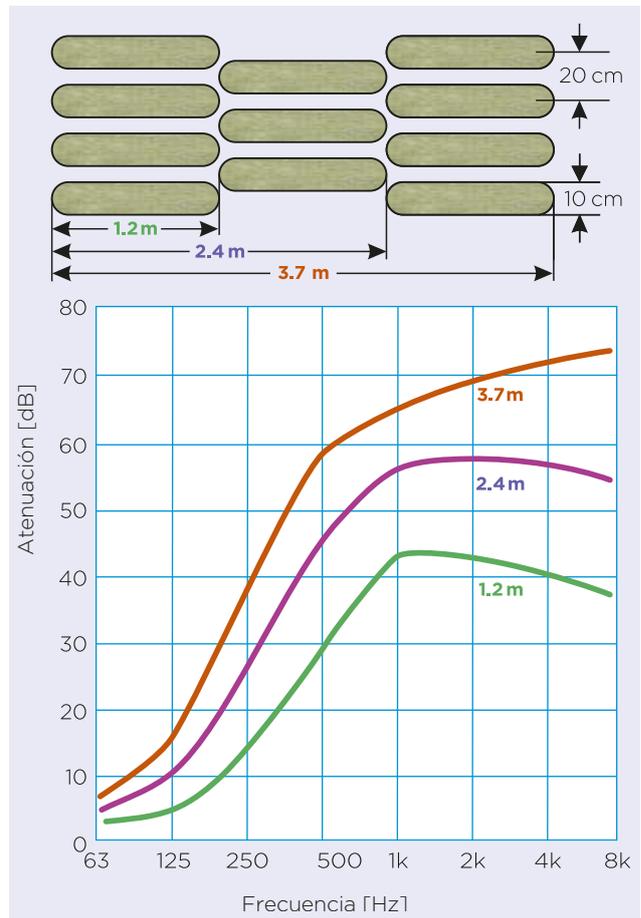
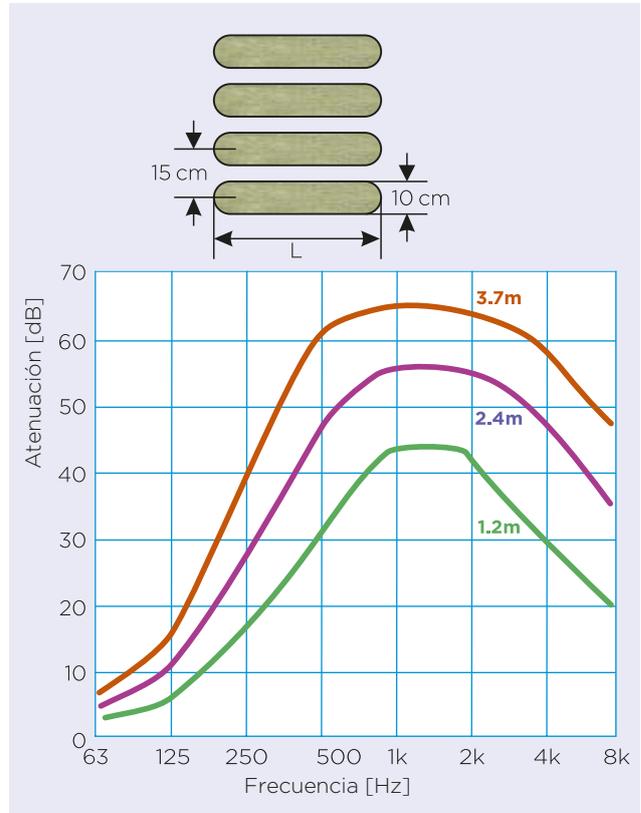
Si se instala recubrimiento de protección debería desear de chapa perforada con una superficie de perforación por encima del 30%. En el caso de que se protejan con un velo o foil, las atenuaciones a alta frecuencia variarán en función del espesor del recubrimiento y de su densidad superficial. Ver figura.

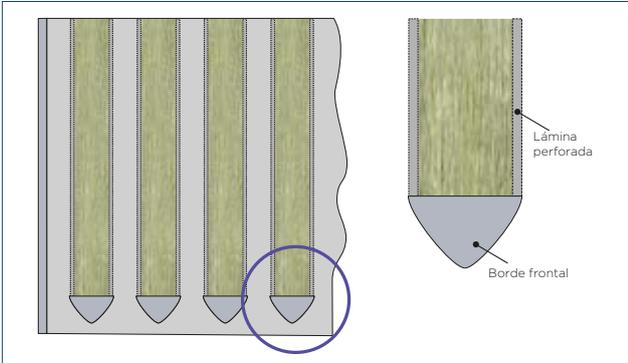


$$\alpha_{cover} = \alpha \cdot \text{loss factor}$$

$$D_{cover} = D \cdot \text{loss factor}$$

Si en el silenciador existen altas velocidades de flujo del fluido, aparece un empeoramiento y una mejora de la atenuación que depende de la dirección del flujo (a favor o contra la dirección de propagación del sonido). Esta influencia sobre la atenuación se refiere especialmente al rango de frecuencia media y alta. Debido a las transmisiones por flancos, no se pueden lograr atenuaciones máximas de más de 40 dB sin tomar medidas adicionales en el área del silenciador. Los valores más altos no deben aplicarse a pesar de que resulten del cálculo. Si se requieren valores de atenuación más altos, se pueden realizar instalaciones de silenciadores en serie dejando una distancia grande entre ellos (al menos 4 veces el diámetro hidráulico de la sección del silenciador), colocando puntas aerodinámicas en la entrada y en la salida del silenciador, o colocando los baffles a tresbolillo como la figura adjunta.





Además de los requisitos acústicos, se deben considerar otras cosas importantes para el flujo, como por ejemplo la velocidad media (V_{\max} para baffles o colisas) para un recubrimiento de chapa perforada de unos 10 m/s, con un recubrimiento de chapa perforada de unos 25 m/s, ruidos de flujo y las pérdidas de presión.

Además, debe prestarse especial atención a la presión y la temperatura del medio, por ejemplo, silenciadores de escapes de gases con temperaturas altas de fluido.

3.6.7. Ruido regenerado o ruido de flujo

El nivel de potencia acústico del ruido regenerado o ruido de flujo se puede estimar con la siguiente expresión:

$$L_{w,oct} = B + \left[10 \log \frac{\rho c S}{W_0} + 60 \log M_a + 10 \log \left(1 + \left(\frac{c}{2f_m H} \right)^2 \right) - 10 \log \left(1 + \frac{\delta f_m}{c} \right) \right]$$

donde B es un valor que depende del tipo de silenciador y la frecuencia en dB, v es la velocidad de flujo en la sección transversal más estrecha del silenciador en m/s, c es la velocidad del sonido dentro del medio en m/s, M_a es el número de Mach ($M_a = v/c$), p es la presión estática en Pa, S es el área de la sección transversal más estrecha en m^2 , f es la frecuencia media de octava en Hz, H es la dimensión transversal máxima del conducto en m, δ es una escala de longitud que caracteriza el componente espectral del ruido de flujo en m y $W_0 = 1 \text{ W}$.

Para los silenciadores con colisas o baffles para equipos de aire acondicionado, los valores son aproximadamente $B = 58 \text{ dB}$ y $\delta = 0.02 \text{ m}$.

3.6.8. Pérdidas de presión

La pérdida de presión total de un silenciador es decisiva para la selección de los baffles o colisas (su medida de ancho) y el ancho del paso de aire. Existen pérdidas de presión en los extremos delante y detrás de los baffles, así como a lo largo de los pasos de aire entre las colisas o baffles.

La pérdida de carga se puede estimar con las siguientes expresiones:

$$\Delta P_i = (\zeta_s + \zeta_f) \frac{\rho}{2} v_1^2 = \zeta \frac{\rho}{2} v_1^2$$

$$\zeta_s = \left(\frac{d}{2} \right)^2 \left[0.5 \zeta_1 \left(\frac{s}{d} + 1 \right) + \zeta_2 \right]$$

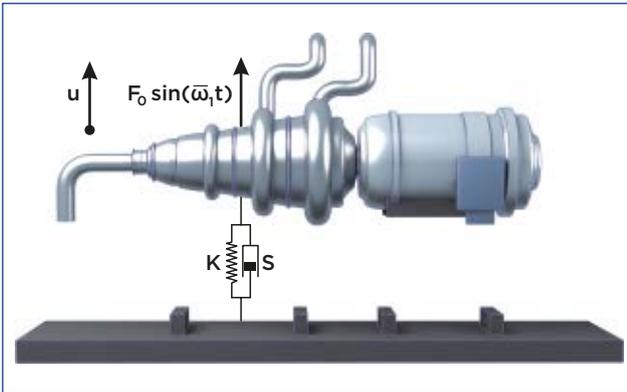
$$\zeta_f = 0.025 \frac{l}{s} \left(1 + \frac{d}{s} \right)^2$$

donde ζ_1 es el coeficiente de resistencia del lado delante de las colisas o baffles, para colisas rectangulares $\zeta_1 = 1$, para colisas con perfiles de flujo de aire semicircular $\zeta_1 = 0,1$ y ζ_2 es el coeficiente de resistencia del lado detrás de las colisas para colisas rectangulares $\zeta_2 = 1$, para colisas con perfiles de flujo de aire semicircular $\zeta_2 = 0,7$, s es el ancho del espacio en m^2 y d el espesor en m.

Se deben tener en cuenta las pérdidas adicionales como las pérdidas de presión de piezas de reducción o adaptación.

3.7. Control de vibraciones

3.7.1. Introducción



El sistema de la figura representa una oscilación forzada armónica amortiguada como es el caso que queremos describir.

Ecuación de fuerzas:

$$M u''(t) + S u'(t) + k = F_0 \sin(\omega_1 t)$$

ω_1 = Frecuencia forzada de excitación armónica.

La anterior ecuación posee una Solución compuesta = Solución particular + Solución general.

$$u(t) = u_g(t) + u_p(t)$$

Los dos sumandos tienen una importancia y un significado muy diferente:

El primero representa una **componente transitoria** de la respuesta, que desaparece con el tiempo al tender su amplitud exponencialmente a cero. (Picos en arranque/paro del motor).

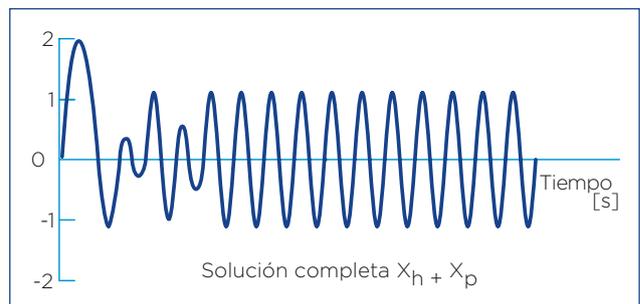
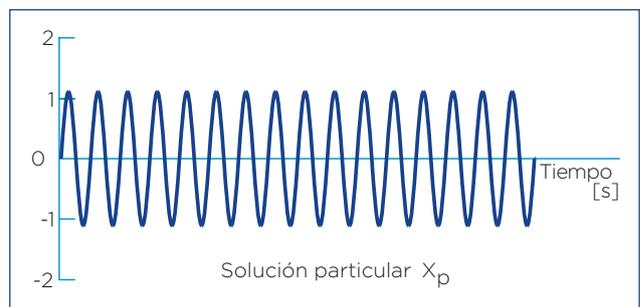
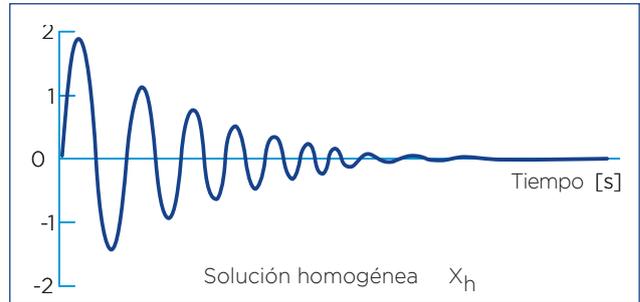
$$u_g(t) = e^{-\nu \omega_1 t} (C \sin(\omega_1 t + \varphi))$$

(solución homogénea)

El segundo sumando representa, sin embargo, la **respuesta estacionaria** estacionaria y es mucho más interesante, porque está presente mientras esté presente la excitación.

$$u_p(t) = A \sin(\omega_1 t + \varphi)$$

(solución particular)



Se define como frecuencia de resonancia natural o propia del sistema en un sistema sin excitación forzada y sin amortiguamiento:

$$\sqrt{k/m}$$

siendo k la rigidez y m la masa.

Y en caso de existir amortiguamiento (s), se define la razón de amortiguamiento como:

$$\nu = \frac{s}{2\sqrt{km}}$$

En la práctica, existen un gran número de situaciones en las que es posible reducir, pero no eliminar las fuerzas de carácter dinámico (variables en el tiempo) que excitan nuestro sistema mecánico dando lugar a la aparición de un problema de vibraciones. En este sentido, existen diferentes métodos o formas de plantear el **control de las vibraciones**; entre todos ellos cabe destacar:

- El **conocimiento** y control de las **frecuencias naturales** del sistema de cara a evitar la presencia de resonancias bajo la acción de excitaciones externas.
- La **introducción de amortiguamiento** o de cualquier tipo de mecanismo disipador de energía de cara a prevenir una respuesta del sistema excesiva (vibraciones de gran amplitud), incluso en el caso de que se produzca una resonancia.
- El uso de elementos **aislantes** de vibraciones que reduzcan la transmisión de las fuerzas de excitación o de las propias vibraciones entre las diferentes partes que constituyen nuestro sistema.

3.7.2. Control de las frecuencias naturales

Se sabe que cuando la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, tiene lugar un fenómeno de **resonancia**. La característica más importante de la resonancia es que da lugar a grandes desplazamientos, al amplificar de manera importante las vibraciones. En la mayor parte de los sistemas mecánicos, la presencia de grandes desplazamientos es un fenómeno indeseable ya que provoca la aparición de tensiones y deformaciones igualmente grandes que pueden ocasionar fallo mecánico.

En consecuencia, las condiciones de resonancia deben de tratar de ser evitadas en el diseño y construcción de cualquier sistema mecánico. No obstante, en la mayor parte de los casos, las frecuencias de excitación no pueden controlarse al venir impuestas por los requerimientos de carácter funcional de la máquina (por ejemplo, velocidades de giro). En tal caso, el objetivo será el control de las frecuencias naturales del sistema para evitar la presencia de resonancias.

La frecuencia natural de un sistema ω_1 puede cambiarse variando tanto la masa (m) como la rigidez (k) del mismo. En muchas situaciones en la práctica, sin embargo, la masa no resulta fácil de cambiar, ya que su valor suele venir determinado por los requerimientos funcionales de la máquina. Por ello, la rigidez es el parámetro que se modifica de forma más habitual a la hora de alterar las frecuencias naturales de un sistema mecánico. Así, por ejemplo, la rigidez de un rotor puede modificarse cambiando el número y colocación de los puntos de apoyo (cojinetes), o instalando una bancada de inercia.

3.7.3. Amortiguamiento.

Aunque el amortiguamiento es a menudo despreciado de cara a simplificar el análisis de un sistema, especial-

mente en la búsqueda de sus frecuencias naturales, todos los sistemas mecánicos reales poseen amortiguamiento en mayor o menor medida. Su presencia resulta de gran ayuda.

Si el sistema se encuentra en un caso de vibraciones forzadas, su respuesta (la amplitud de la vibración resultante) tiende a amplificarse en las cercanías de las resonancias, tanto más cuanto menor sea el amortiguamiento. La presencia de amortiguamiento siempre limita la amplitud de la vibración. Si la fuerza o fuerzas de excitación son de frecuencias conocidas, será posible evitar las resonancias cambiando la frecuencia natural del sistema y alejándola de aquella o aquellas.

En ciertas aplicaciones de carácter estructural, también es posible introducir amortiguamiento a través de las uniones (Se instala cuando es necesario elastómeros interpuestos en las bases de apoyo del sistema y/o estabilizadores internos en los aisladores de muelle metálico).



3.7.4. Aislamiento de vibraciones. Transmisibilidad

Se conoce como aislamiento de vibraciones a todo aquél procedimiento que permite reducir los efectos indeseables asociados a toda vibración.

Básicamente, ello suele suponer la introducción de un elemento elástico (aislante) entre la masa vibrante y la fuente de vibración, de forma que se consigue reducir la magnitud de la respuesta dinámica del sistema, bajo unas determinadas condiciones de la excitación en vibración.

Un sistema de aislamiento de vibraciones puede ser **activo o pasivo**, dependiendo de si se precisa una fuente externa de potencia o no para que lleve a cabo su función.

Un **control pasivo** está formado por un elemento elástico (que incorpora una rigidez) y un elemento disipador de energía (que aporta un amortiguamiento). Ejemplos de aislantes pasivos son: un muelle metálico, un corcho, un fieltro, un resorte neumático, un elastómero, etc.

Siendo el llamado Factor de amplificación dinámica (D) la relación existente entre la amplitud de las vibraciones de un sistema de un grado de libertad sometido a una excitación de tipo armónico y el desplazamiento estático (cuando la carga es aplicada estáticamente). El valor de D es:

$$D = \frac{1}{\sqrt{(1 - \alpha^2)^2 + (2v\alpha)^2}}$$

Siendo como ya se sabe:

$$v = \frac{s}{2\sqrt{km}}$$

Y siendo:

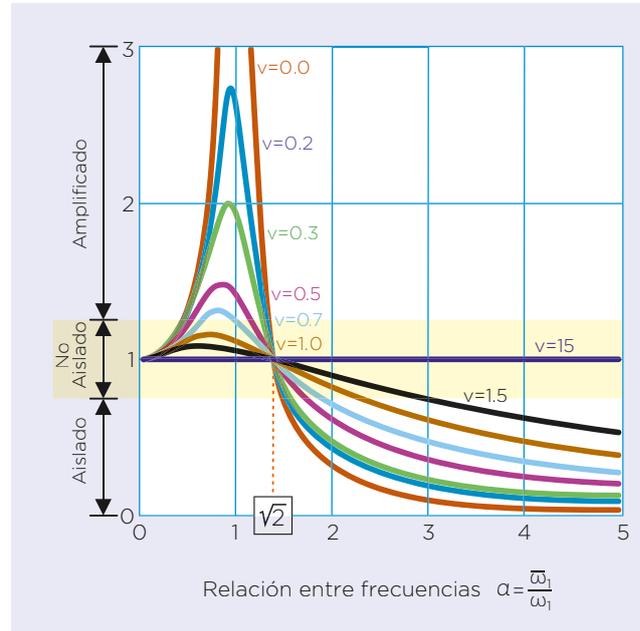
$\alpha = \pi_1 / \omega_1$ = frecuencia de excitación armónica / frecuencia natural del sistema.

Puede definirse la Transmisibilidad T_r como el cociente entre la amplitud de la fuerza transmitida y la de la fuerza de excitación..

$$T_r = \frac{F_t}{f_{w1}} = D\sqrt{1 + (2va)^2}$$

La efectividad de un aislante de vibraciones se establece en términos de su transmisibilidad. Para poder decir que se ha conseguido aislamiento es preciso que la Transmisibilidad sea < 1 .

Ello obliga a que la frecuencia de excitación π_1 sea, como mínimo, veces la frecuencia natural del sistema ω_1 . Se aconseja que $\pi_1 \geq 4 \omega_1$ para aislamientos $> 90\%$.



Para valores de α próximos a la unidad, el sistema actúa no como un aislante, sino como un amplificador, transmitiendo esfuerzos o desplazamientos muy superiores a los originales.

Para una frecuencia de excitación dada π , puede reducirse el valor de transmisibilidad disminuyendo la frecuencia natural ω_1 del sistema (lo que equivale a aumentar la α).

Por lo que al amortiguamiento se refiere, la transmisibilidad también puede reducirse disminuyendo la relación de amortiguamiento v ya que si α es > 1 , la T_r disminuye al hacerlo v .

Sin embargo, este planteamiento resulta perjudicial si el sistema se ve obligado a pasar por la resonancia, por ejemplo durante situaciones de arranque y parada. Por ello, en cualquier caso, siempre será necesario un cierto amortiguamiento que evite amplitudes de vibración grandes en el paso por la resonancia.

3.7.5. Tipos de elementos antivibratorios

A continuación, hacemos referencia a las características y uso de diferentes tipos de muelles aisladores, con una breve descripción de sus características, campo de aplicación y comportamiento.

Muelles elastoméricos

Por su deformabilidad elástica y su pequeño módulo de Young, los elastómeros son materiales apropiados para muelles. Comparados con los muelles metálicos, presentan un mayor amortiguamiento.

Las características como la rigidez y el amortiguamiento dependen de la selección del material básico y de los componentes de la mezcla de materiales, así como de la forma del muelle. También, están afectadas por condiciones ambientales como la temperatura. El envejecimiento a largo plazo depende en gran parte de la composición del material.

En los muelles elastoméricos normalmente son distintas la rigidez estática y la rigidez dinámica, siendo mayor la dinámica que la estática. Sólo deberían calcularse las frecuencias naturales del sistema aislado a partir de la rigidez dinámica. Cuando se utilizan muelles elastoméricos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 6 Hz a 20 Hz.

En general, la curva de deformación bajo carga de los muelles no es lineal, pero en la práctica puede linealizarse para la carga de servicio.

Para cargas de compresión grandes y distribuidas, se utilizan habitualmente los muelles elastoméricos en forma de placas o mallas. Normalmente, para estas aplicaciones, las frecuencias naturales verticales son superiores a 12 Hz.

Muelles metálicos

Los muelles metálicos no son sensibles a las grandes diferencias de temperatura y son resistentes a la mayoría de las sustancias orgánicas. Para el aislamiento de las vibraciones de las máquinas, se utilizan preferentemente los muelles metálicos hechos de acero. En los muelles de acero no hay diferencia entre la rigidez estática y dinámica. Cuando se utilizan muelles metálicos, pueden obtenerse frecuencias naturales verticales de 1.5 a 8 Hz.

Los muelles de acero son capaces de almacenar grandes energías de deformación con importantes amplitudes de flexión. Sus características elásticas no varían con el tiempo.

El muelle helicoidal de compresión es el muelle metálico generalmente utilizado para el aislamiento vibratorio de las máquinas debido a sus características de deformación en gran parte lineales (curva de deformación bajo carga) y a la amplia selección de niveles de rigidez disponibles.

Muelles neumáticos

Un muelle neumático está en principio constituido de un volumen lleno de gas con paredes elásticas. Cuando la carga varía, el muelle se deforma al nivel de las paredes elásticas, lo que provoca un cambio de volumen y, por tanto, un cambio de presión.

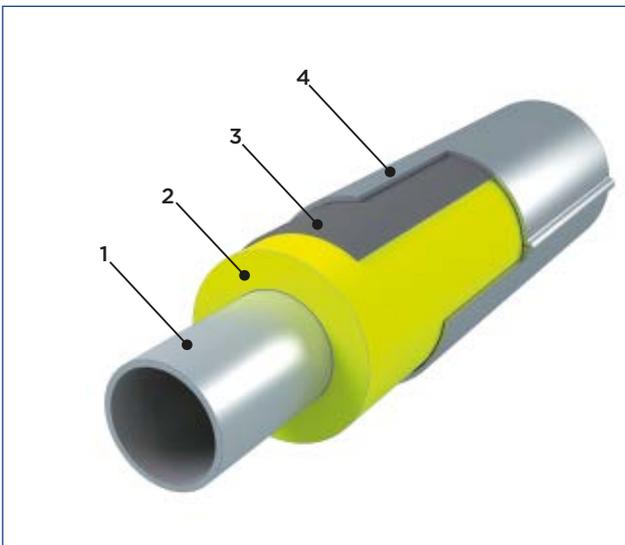
3.8. Ruido en tuberías

El documento standard ISO 15665:2003. "Acústica. Aislamiento acústico para tuberías, válvulas y bridas" define las prestaciones de aislamiento acústico de los sistemas para reducir el ruido producido por tuberías, válvulas y bridas en una instalación. Existen otros estándares como pueden ser:

- NORSOK standardR-004 class 6,7 & 8
- ASTM E 1222.
- CINI 9.2.02

El montaje de aislamiento acústico es idéntico al aislamiento térmico de las tuberías. Podemos concluir que todo aislamiento térmico de tuberías, válvulas y bridas posee cierto grado de aislamiento acústico. Si consideramos una tubería desnuda el sistema de aislamiento acústico está constituido por:

1. Tubería.
2. Material poroso.
3. Opcional: Masa adicional para incrementar el aislamiento acústico.
4. Revestimiento exterior.



El aislamiento acústico para tuberías se compone generalmente por una capa exterior metálica o revestimiento sin conexiones rígidas con la tubería. Las pérdidas acústicas deben ser evitadas con la colocación de capas contrapeadas y con unos sellados bien realizados.

Entre la capa exterior y la tubería se coloca una capa de material poroso (lana mineral o espuma elastomérica de celda abierta).

Todos los estándares hacen una diferencia en las prestaciones acústicas de los sistemas usando la magnitud perdidas por inserción y clasificando usando diferentes clases de aislamiento. Por regla general existen 3 clases: A, B y C. Ver tabla 1 para ejemplos de sistemas técnicos según las clases.

Tabla 1: Clases generales de aislamiento en tuberías

Clase	Espesor del material poroso [mm]	Mínima masa por unidad de área del revestimiento exterior [kg/m ²]	Ejemplos de chapa metálica estándar
A	50	2	0.7 mm aluminium
B	100	5	0.7 mm steel
C	100	10	1.3 mm steel

Tabla 2: Pérdidas de inserción para aislamiento de tuberías según clases

Clase	Pérdidas por inserción [dB]							
	Frecuencia central de bandas de octava [Hz]							
	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
A	--	--	--	5	10	15	20	20
B	--	--	5	10	20	25	30	30
C	--	5	10	15	25	30	35	35

Tabla 3: Pérdidas mínimas de inserción s/ISO 15665.

Clase	Rangos de diámetros nominales D [mm]	Frecuencia central de bandas de octava [Hz]						
		125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
		Pérdida mínima de inserción [dB]						
A1	D < 300	-4	-4	2	9	16	22	29
A2	300 ≤ D < 650	-4	-4	2	9	16	22	29
A3	650 ≤ D < 1,000	-4	2	7	13	19	24	30
B1	D < 300	-9	-3	3	11	19	27	35
B2	300 ≤ D < 650	-9	-3	6	15	24	33	42
B3	650 ≤ D < 1,000	-7	2	11	20	29	36	42
C1	D < 300	-5	-1	11	23	34	38	42
C2	300 ≤ D < 650	-7	4	14	24	34	38	42
C3	650 ≤ D < 1,000	1	9	17	26	34	38	42

La capa de material poroso es un aislante de la vibración entre la tubería y el revestimiento y además absorbe el ruido, siendo el más utilizado la lana mineral. Los formatos del material poroso pueden ser en formato coquilla o manta armada. Hay que tener en cuenta que las prestaciones de los productos deberán ser adecuadas para las temperaturas máximas de funcionamiento y para el entorno donde sean instalados.

El material poroso debe tener las siguientes prestaciones:

- Resistividad del flujo de aire en el rango de 25.000 - 75.000 Ns/m⁴ (Ns/m⁴ = Pas/m²).
- Rigidez inferior a 106 N/m³.

Ejemplos de productos adecuados para la capa de material poroso:

- Lana mineral.
- Espuma elastomérica flexible de celdas abiertas.

Aquellos productos donde las fibras sean perpendiculares a la pared de la tubería, tales como las lamellas, pueden aumentar la rigidez y por lo tanto reducir el rendimiento del sistema acústico propuesto.

3.9. Cabinas de protección personal

Las cabinas de protección personal se consideran cerramientos acústicos, pero en vez de atenuar el ruido y envolver a maquinaria, se pretende envolver y proteger del ruido al receptor, en este caso personas/trabajadores. Los niveles de presión sonora en el interior de las cabinas de protección personal al igual que los cerramientos acústicos anteriormente vistos dependen principalmente de los siguientes factores:

- Reducción sonora R de los paneles acústicos, que depende de la composición del panel sándwich.
- Superficie efectiva de las paredes divisorias.
- Características de absorción de los materiales del interior de la cabina de protección personal.

Las paredes y techos de la cabina deben ser homogéneos o con aberturas (visores acústicos puertas, ventilación) debidamente tratados para evitar pérdidas. Los índices de nivel de reducción sonora que puede lograrse por esos medios, es de 5 dB (A) a 30 dB (A).

Si la cabina de protección es altamente reflectante, habrá un efecto de reverberación en el interior que genera un nivel de ruido "adicional" dentro de la cabina, que a efectos prácticos producirá un empeoramiento del nivel de reducción sonora. Por ello es necesario instalar material absorbente en el interior. Por esta razón, la mejor solución está compuesta por una combinación de paneles en la que la cara interna del recinto está formada por una lámina perforada de protección que cubre el material altamente absorbente (normalmente lanas minerales, protegida por un velo de fibra de vidrio).



El nivel de presión acústica dentro del recinto acústico se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$L_{p(r)} = L_{p(s)} - R + 10 \log \frac{4S}{A}$$

donde $L_{p(r)}$ es el nivel de presión sonora en el receptor, $L_{p(s)}$ es el nivel de presión sonora de la fuente, R es la reducción de sonido del panel en dB, S es la superficie de la pared en m^2 y A el área de absorción equivalente de la sala del receptor en m^2 .

Unos elementos importantes de estas cabinas de protección personal son las ventanas y puertas. Al menos los niveles de reducción sonora de los elementos adicionales deben ser al menos los mismos que los paneles acústicos que forman las cabinas de protección personal.

Es importante poner especial cuidado en el sistema de fabricación de la cabina de protección, su instalación, fijación y elementos adicionales para evitar mayores incrementos de ruido en interior por estos motivos.



3.10. Protecciones auditivas

En la mayoría de los países industrializados existen regulación que indican los límites de exposición al ruido de los trabajadores en 3 zonas o niveles.

VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN

$L_{Aeq,d} > 87$ dB(A) y/o $L_{peak} > 140$ dB(C) .
(Al aplicar los valores límite se tendrá en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo).

VALORES SUPERIORES DE EXPOSICIÓN QUE DAN LUGAR A UNA ACCIÓN

$L_{Aeq,d} > 85$ dB(A) y/or $L_{pico} > 137$ dB(C).

VALORES INFERIORES DE EXPOSICIÓN QUE DAN LUGAR A UNA ACCIÓN

$L_{Aeq,d} > 80$ dB(A) y/o $L_{pico} > 135$ dB(C).

Los niveles 2 y 3 obligan a la utilización de protección auditiva y el nivel 1 lo recomienda por lo que las indicaciones de uso de los mismos son las siguientes:

Los trabajadores deben usar un protector auditivo si el nivel de ruido o ruido en el lugar de trabajo excede los 85 decibelios (ponderado A) o dB (A). En el área entre 80 - 85 dB (A), debe haber disponible un protector auditivo en el lugar de trabajo y se recomienda su uso.

Se debe implementar un programa de conservación completo cuando sea necesaria una protección auditiva. Para implementar un programa de conservación de la audición será necesario incorporar la evaluación del ruido, la selección del protector auditivo, la capacitación y educación de los empleados, las pruebas audiométricas, el mantenimiento, la inspección, el mantenimiento de registros y la evaluación del programa.

Si los protectores auditivos se retiran solo por un período corto o no se ajustan correctamente, la protección se reduce sustancialmente.

Seleccione protección auditiva que:

- Sea para reducir niveles sonoros en el trabajo. Póngase en contacto con la agencia responsable de la legislación de salud y seguridad laboral en su país para obtener más información.
- Proporcione una protección adecuada. Sigue las instrucciones del fabricante.
- Cómodo.

Tipos de protectores auditivos

Se deben insertar tapones para los oídos para bloquear el canal auditivo. Hay dos tipos: premoldeados (preformados) o moldeables (tapones de espuma). Los tapones para los oídos se venden como productos desechables o como tapones reutilizables.



Tapones para los oídos semi-insertados, consiste en dos tapones para los oídos, sostenidos sobre los extremos del canal auditivo por una banda rígida.



Las orejeras o auriculares constan de material atenuador de sonido y almohadillas suaves para los oídos que se ajustan alrededor de la oreja y las copas externas duras. Una cinta a los mantiene unidos.

Los fabricantes ofrecen información sobre la capacidad de atenuación el ruido de un protector auditivo como el número SNR (clasificación de número único).

Tapón de oído moldeado a medida.

Se trata de un tapón de oído personal moldeado con una goma de silicona moldeada y ventilada, que está hecho a medida para el tazón de concha y el canal auditivo, lo que proporciona una comodidad total. Está diseñado para ser usado en cualquier ambiente ruidoso. Los tapones moldeados forman parte de las EPIs, como gafas de seguridad, aparatos de respiración y cascos, por ejemplo. Cada par está diseñado especialmente para adaptarse a las orejas. Son los mejores tapones para los oídos, pues proporcionan un ajuste perfecto, una comodidad superior, una protección precisa y fiable y una gran durabilidad. Los tapones moldeados a medida para laboratorio profesional requieren impresiones de los oídos. Los valores de SNR los proporciona el fabricante.

Ventajas y desventajas de los dispositivos de protección auditiva

Tapones para los oídos

Ventajas: Barato. Válido para todos los trabajadores. Pequeño y fácil de llevar. Se puede usar con otros equipos de protección personal (se puede usar con orejeras). Más cómodo para usar a largo plazo en áreas de trabajo húmedas y calientes. Conveniente para usar en áreas de trabajo confinadas.

Desventajas: Requiere más tiempo para adaptarse, Más difícil de insertar y quitar. Requiere buenas prácticas de higiene. Puede irritar el canal auditivo. Fácilmente reemplazable. Más difícil de ver y controlar el uso. Dificulta la comunicación. Después de usar unas pocas horas, se vuelve molesto ponerse (sudar, etc.)

Orejeras o auriculares

Ventajas: Menos variabilidad de atenuación entre diferentes usuarios. Diseñado para que se ajuste a la mayoría de los tamaños de cabeza. Se ve fácilmente a distancia para ayudar a controlar su uso. No se extravía o se pierde fácilmente o se pierde. Puede usarse con infecciones menores de oído.

Desventajas: Menos portátil y más pesado. Más inconveniente para usar con otro equipo de protección personal. Más incómodo en áreas de trabajo húmedas y calientes. Más inconveniente para su uso en áreas de trabajo confinados. Puede interferir con el uso de gafas de seguridad o graduadas.

¿Qué es Single Number Rating (SNR) y NRR?

SNR Un SNR es un sistema de clasificación de un solo número determinado según la norma internacional ISO 4869. Las pruebas son realizadas por laboratorios independientes de los fabricantes. Los SNR se expresan en dB y se utilizan como guía para comparar la capacidad potencial de reducción de ruido de diferentes dispositivos de protección auditiva.

Tabla con SNR por dispositivo

Dispositivos	Tapones	Tapones semi insertados	Orejas	Tapones moldeados a medida
SNR (dB)	21-39	14-35	22-36	14-26

NRR El NRR (índice de reducción de ruido) es un método que intenta describir un protector auditivo basándose en cuánto el protector auditivo reduce el nivel de ruido global. El NRRR como evaluación clínica proporciona teóricamente una estimación de la protección de un dispositivo dado. Las razones para clasificar cada protector auditivo involucran los requisitos de OSHA y EPA para la seguridad y confiabilidad del producto. La clasificación permite al usuario final evaluar la capacidad de atenuación de ruido del producto en su propio entorno de trabajo.

Los fabricantes proporcionan información sobre la capacidad de reducción de ruido de un protector auditivo como un número NRR (Noise Reduction Rating). NRRR se basa en la atenuación del ruido continuo y puede no ser un indicador preciso de la protección alcanzable contra el ruido de impulso y el ruido de baja frecuencia. La clasificación NRR más alta para los tapones es 33, y la clasificación NRR más alta disponible para las orejas es 31. Estos valores reflejan el nivel de protección acústica disponible para cada dispositivo cuando se usa solo. La combinación de tapones para los oídos con orejas puede ofrecer un nivel de protección NRRR de 36.

No hay conversión directa pero una guía razonablemente precisa es $NRRR + 2 \text{ ó } 3 = SNR$.
Ejemplo $NRRR 22 = \pm SNR 25$

Estándares existentes para protectores auditivos

ISO 4869-1: 1990.

Acústica - Protectores auditivos - Parte 1: Método subjetivo para la medición de la atenuación del sonido.

ISO 4869-2: 1994.

Acústica - Protectores auditivos. Parte 2: Estimación de niveles efectivos de presión sonora ponderada A cuando se usan protectores auditivos.

ISO 4869-3: 2007.

Acústica. Protectores auditivos. Parte 3: Medición de la pérdida de inserción de protectores del tipo de orejas usando un accesorio de prueba acústica.

3.11. Control activo de ruido

Dada la tecnología existente en la actualidad, se está investigando y desarrollando sistemas para reducir y disminuir el impacto sonoro de maquinaria y equipos por medio de métodos de control de ruido activo.

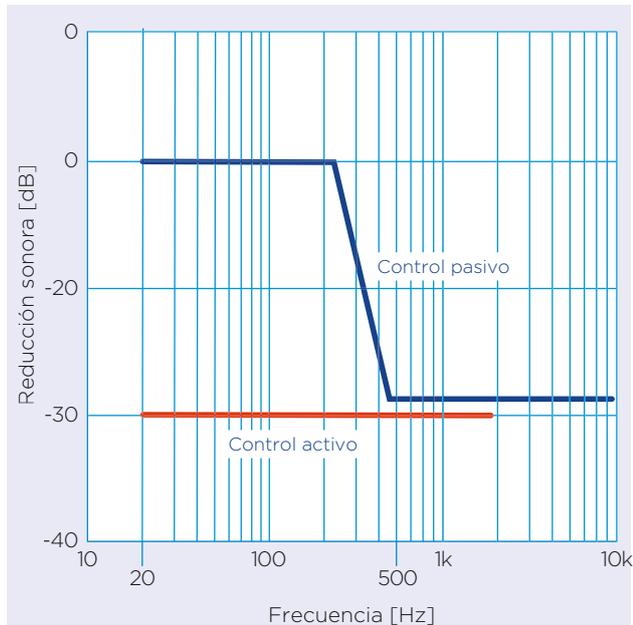
Los primeros sistemas de control de ruido que se desarrollaron son los denominados "pasivos". Estos métodos no responden en tiempo real a la intensidad de ruido presente, dado que no tienen manera de conocer el nivel sonoro existente, y adaptarse a su cambio, ni están programados para responder de una manera determinada ante situaciones específicas. Es tipo de control está diseñado para reducir el ruido en un ámbito preestablecido, y lo hacen reduciendo la vibración o la excitación de los componentes que causan las perturbaciones sonoras.

3.11.1. Antecedentes del control de ruido

Los problemas acústicos surgidos debido al enorme crecimiento de la tecnología en la fabricación y diseño de motores, maquinaria pesada, bombas de alta velocidad, ventiladores y muchas otras fuentes de ruido, han ganado mucha atención, ya que la exposición a altos niveles de ruido es perjudicial para los seres humanos desde el aspecto físico y psicológico. El problema de controlar el nivel de ruido en el ambiente ha sido el foco de una enorme cantidad de investigaciones durante los últimos años.

El acercamiento clásico para producir la cancelación o reducción de ruido es un acercamiento pasivo. Técnicas tales como absorción y el aislamiento son intrínsecamente estables y eficaces sobre una amplia gama de frecuencias. Sin embargo, estos sistemas de cancelación suelen ser grandes, costosos y generalmente ineficaces para cancelar ruido en las frecuencias más bajas. La eficiencia de estos sistemas también se limita a una estructura fija y puede ser muy poco práctico para un número de situaciones donde el espacio es importante y el volumen del sistema instalado llegue a ser un obstáculo. Los defectos de los métodos pasivos de reducción de ruido han dado empuje a la investigación y al uso de otros métodos para controlar el ruido en el ambiente. Durante las últimas dos décadas, se han realizado muchas investigaciones en el campo del Control Activo de Ruido o ANC ("Active Noise Control"). Las ventajas del ANC yacen en la efectividad de la reducción del ruido de baja frecuencia.

Figura 1. Comparación entre los métodos pasivos y activos de control de ruido.

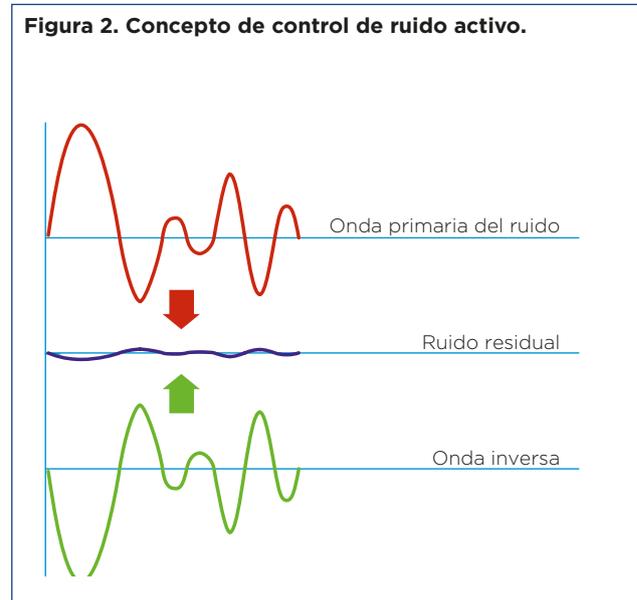


La idea del Control Activo de Ruido tiene setenta y dos años de antigüedad. El principio básico del ANC fue establecido en 1936, cuando Paul Leug patentó su sistema de control activo de ruido para conductos de aire. El principio del ANC es la superposición de dos ondas acústicas de una fuente primaria y una secundaria. Cuando las dos ondas se encuentran desfasadas 180 grados y poseen la misma amplitud, el resultado es la cancelación total de las dos ondas, lo que genera una zona de sombra acústica o "silenciosa".

3.11.2. ¿Qué es el control activo de ruido?

El control activo de ruido es aquel sistema que altera o cancela el sonido por medios electro-acústicos. En su explicación más simple, el ANC es un sistema, el cual hace que un altavoz emita una onda que sea la imagen inversa de la onda del ruido a cancelar, por lo que el resultado tras la cancelación es silencio.

Figura 2. Concepto de control de ruido activo.



Hay una gran diferencia entre los sistemas activos y pasivos para controlar el ruido. Los métodos pasivos utilizan materiales aislantes, silenciadores, pantallas, cerramientos, etc, y dichos sistemas pasivos son efectivos a medias y altas frecuencias, pero se convierten en grandes, muy voluminosos e incómodos a frecuencias bajas. El tamaño de los sistemas pasivos para el control de ruido depende de la longitud de onda, siendo cada vez mayores al bajar la frecuencia, por lo que realiza la necesidad de implementar sistemas activos de control de ruido.

En los sistemas de control activos de ruido existen cuatro elementos importantes (Ver figura 3), y que son los siguientes:

- El sistema físico a ser controlado (fuente sonora), como por ejemplo el caudal de aire en un conducto de ventilación.
- Los sensores son los micrófonos, acelerómetros u otros dispositivos encargados de medir el ruido y controlar cómo trabaja el sistema del control.
- Los actuadores son los dispositivos que físicamente hacen el trabajo de alterar la respuesta del sistema físico, generalmente son dispositivos electromecánicos tales como altavoces o generadores de vibración.
- El controlador es un procesador de señal que indica a los actuadores qué hacer. El controlador se basa en las señales recibidas de los sensores, y en el conocimiento de cómo responde el sistema físico al efecto de los actuadores.

Hay dos tipos básicos de Control Activo de Ruido:

- Sistemas de cancelación activa ANC (“Active Noise Control”).
- Sistemas de estructura acústica ASAC (“Active Structural-Acoustic Control”).

En los ANC los actuadores son altavoces que generan una onda desfasada 180° respecto la onda original para cancelar el ruido. Por otro lado, cuando el ruido es generado por la vibración de una estructura flexible, los ASAC son más apropiados, ya que los actuadores son fuentes de vibración que pueden modificar su estructura, cambiando la forma en la que irradian el sonido.

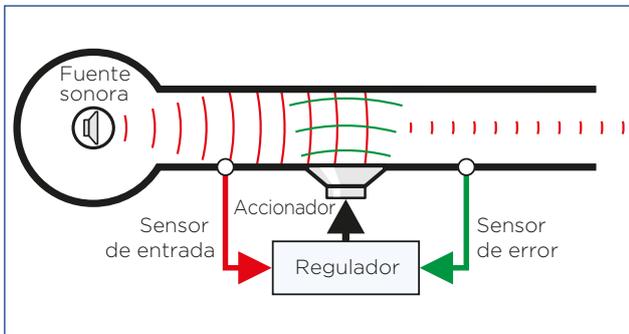


Figura 3. Concepto general de control de ruido activo en conductos.

En los ANC los actuadores son altavoces que generan una onda desfasada 180° respecto la onda original para cancelar el ruido. Por otro lado, cuando el ruido es generado por la vibración de una estructura flexible, los ASAC son más apropiados, ya que los actuadores son fuentes de vibración que pueden modificar su estructura, cambiando la forma en la que irradian el sonido. Aunque va en contra de la intuición, adicionar ruido a un sistema efectivamente sí reduce los niveles sonoros. El Control Activo de Ruido funciona cuando uno o ambos efectos físicos se logran: interferencia destructiva y equiparación de impedancias. Se puede entender que el control activo genera un campo de anti-ruido que cancela el sonido. La onda de sonido es la secuencia de compresiones (con alta presión) y expansiones (con baja presión), y cuando una onda de alta presión se da en el mismo lugar y al mismo momento que una onda de baja presión, las ondas sufren de interferencia destructiva y no hay cambio de presión, lo que se traduce como silencio.

El control ANC funciona mejor si el ruido está espaciado regularmente, el ejemplo clásico es una onda que viaja en un conducto. El espaciado regular se refiere a cuando la relación entre la longitud de onda es comparable con las dimensiones de su entorno cerrado, como frecuencias bajas, y como se mencionó anteriormente los sistemas pasivos funcionan mejor a frecuencias altas, razón por la cual generalmente se utilizan conjuntamente.

El control de ruido en espacios complejos aún se encuentra fuera del alcance de la tecnología actual. Por ejemplo, controlar el ruido que afecta a una casa, es sumamente complejo dado la geometría y la cantidad de frecuencias altas. Por otro lado, es más fácil controlar un espacio cerrado como una cabina de automóvil, donde el tamaño de la cabina es similar o mayor a la longitud de onda. Y el caso extremo es cuando se desea controlar en un espacio cerrado y pequeño en comparación a la longitud de onda. Aun así, generalmente, reducir el ruido en un espacio tiene el efecto indeseado que amplifica el ruido en otro lugar. El sistema de ANC reduce el ruido localmente en lugar de globalmente.

3.11.3. Sistemas activos de control de ruido en conductos

Los sistemas ANC se basan ya sea en el control con alimentación en adelante, donde una señal de ruido coherente es la señal de referencia, o en el control con retroalimentación donde el controlador no tiene el beneficio de tener una señal de referencia. Los sistemas se clasifican según el tipo de ruido que pueden cancelar, ya sean señales de ruidos de banda ancha o señales de banda estrecha.

Tipos de sistema ANC:

- Sistema ANC de banda ancha con alimentación en adelante, que utiliza un sensor acústico (micrófono) de entrada.
- Sistema ANC de banda estrecha con alimentación en adelante, que utiliza un sensor no-acústico de entrada.
- Sistema ANC con retroalimentación, que utiliza solamente un sensor de error.

En la figura 4 se muestra un típico sistema de control de ruido. El ruido que se desea cancelar e , medido a la salida del sistema, está compuesto por la suma de la señal de ruido primario s recorre la rama primaria P y la señal controlada u recorre la rama G . La señal controlada u es calculada por un controlador digital con alimentación en adelante representado por T . El controlador T necesita una señal de referencia x , la cual carga alguna información del ruido. La señal de referencia es resultado de la señal de ruido primario tras recorrer la rama R .

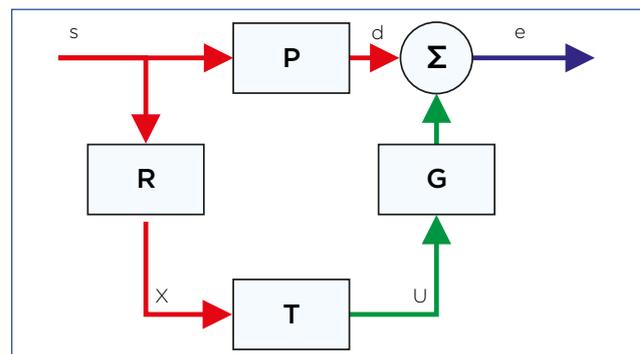


Figura 4. Sistema con alimentación en adelante.

3.11.3.1. Sistema ANC de banda ancha con alimentación en adelante

Unos ejemplos de ruidos de banda ancha se producen en conductos tales como tubos de escape y ventilación de sistemas. Un sistema de control relativamente simple con alimentación en adelante en un conducto se muestra en la figura 5. $X(n)$, la señal de la referencia, es detectada por un micrófono cerca de la fuente de ruido antes de que pase el altavoz. El cancelador del ruido utiliza la señal de entrada de referencia para generar una señal $y(n)$ de la amplitud igual a $x(n)$ pero con un desfase de 180° . Se conduce esta señal “anti-ruido” hacia el altavoz para producir un sonido que atenúa el ruido acústico primario en el conducto.

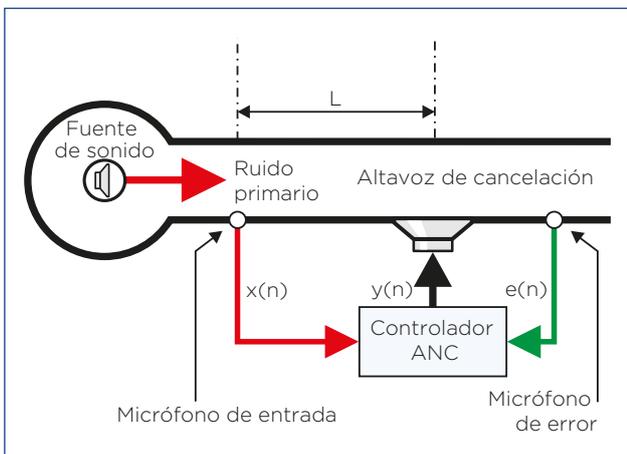


Figura 5. Sistema ANC de banda ancha con alimentación en adelante.

El principio básico de la técnica de control de ruido de banda ancha por medio de alimentación en adelante consiste en que el retraso que existe entre el sensor (micrófono de entrada) y la fuente activa de control (altavoz) permite reintroducir eléctricamente el ruido en una posición en el campo acústico donde se producirá la cancelación. La distancia entre el micrófono en la entrada y el altavoz debe satisfacer los principios de causalidad y de alta coherencia, es decir que la referencia se debe medir antes en tiempo, de manera que se pueda generar la señal de “anti-ruido” en el momento que la señal de ruido alcance el altavoz y también se debe cumplir que la señal de ruido en el altavoz sea muy similar al ruido medido en la entrada en el micrófono, es decir que el canal acústico no debe cambiar el ruido de manera perceptible.

El micrófono a la salida mide la señal de error (residuo), la cual es utilizada para adaptar los coeficientes del filtro para minimizar este error. El utilizar la señal de error para adaptar los coeficientes del filtro no representa una retroalimentación, ya que la señal de error no está siendo comparada con la referencia de entrada.

3.11.3.2. Sistema ANC de banda estrecha con alimentación en adelante

En aplicaciones donde el ruido primario es periódico (o casi periódico) y es producido por maquinaria rotativa, el micrófono de la entrada se puede sustituir por un sensor no-acústico tal como un tacómetro, un acelerómetro, o un sensor óptico. El diagrama de bloques de un sistema activo de control de ruido de banda estrecha con alimentación en adelante se muestra en la figura 6. La señal no-acústica del sensor es sincrónica a la fuente de ruido y se utiliza para simular una señal de entrada que contiene la frecuencia fundamental y todos los armónicos del ruido primario. Este tipo de sistema controla ruidos armónicos filtrando adaptablemente la señal sintetizada de la referencia para producir una señal de cancelación. En muchos equipos tales como motores eléctricos de ventiladores, turbobombas o vehículos, la señal de revoluciones por minuto (RPM) está disponible y puede ser utilizada como la señal de la referencia. Un micrófono de error todavía se requiere para medir la señal de ruido residual. Esta señal de error se utiliza de ajustar los coeficientes del filtro adaptable.

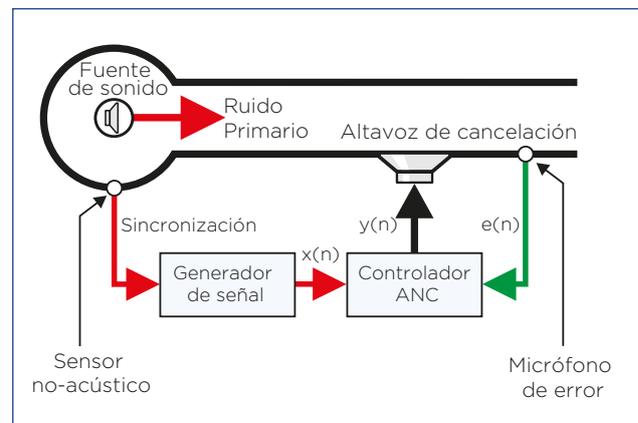


Figura 6. Sistema ANC de banda estrecha.

Generalmente, la ventaja de los sistemas de banda estrecha de ANC es que los sensores no-acústicos son insensibles al sonido de cancelación, lo que produce sistemas de control muy robustos. Específicamente, esta técnica tiene las siguientes ventajas:

- Los problemas ambientales y del envejecimiento del micrófono de entrada se eliminan automáticamente. Esto es especialmente importante desde el punto de vista de la ingeniería, porque es difícil detectar el ruido de referencia en altas temperaturas y en conductos de gas, como por ejemplo el dispositivo de escape de un motor.
- El hecho que la señal de ruido primario sea periódica permite despreocuparse de que se cumpla la causalidad. La forma de onda del ruido tiene un contenido constante. Solamente se requieren ajustes de fase y magnitud. Esto da en una mayor libertad con respecto a la colocación del altavoz y permite que el regulador induzca mayores retrasos.
- El uso de una señal de referencia generada por el regulador permite una cancelación selectiva; es decir, se puede de controlar cada armónico de manera independiente.
- Solamente es necesario modelar la parte de la función de transferencia acústica del sistema físico a controlar referente a sus tonos armónicos. Un filtro FIR de bajo-orden se puede utilizar, haciendo el sistema activo de control del ruido periódico más eficiente.
- Se evita el problema de que el micrófono en la entrada llegue a ser retroalimentado por la señal de cancelación proveniente del altavoz.

Algunos otros sistemas utilizan alimentación en adelante y retroalimentación, como el sistema de la figura 7. La retroalimentación ha traído ventajas en el control de ruido y vibración.

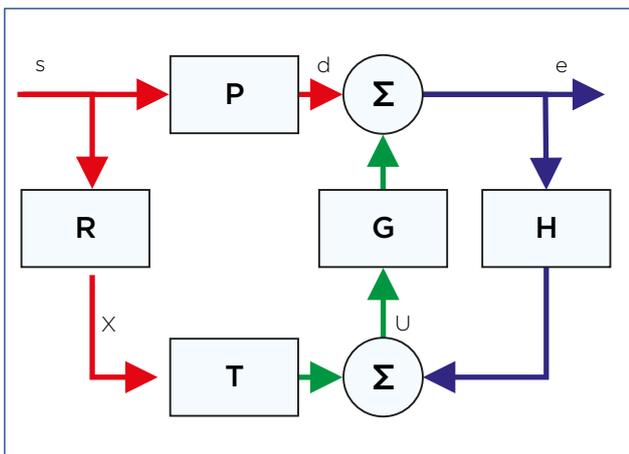


Figura 7. Sistema con alimentación en adelante y retroalimentación.

La señal de referencia x puede ser difícil de obtener en muchos casos, por lo que una alternativa es utilizar sistemas de control sin alimentación en adelante, solamente con retroalimentación, tal y como se muestra en la figura 8.

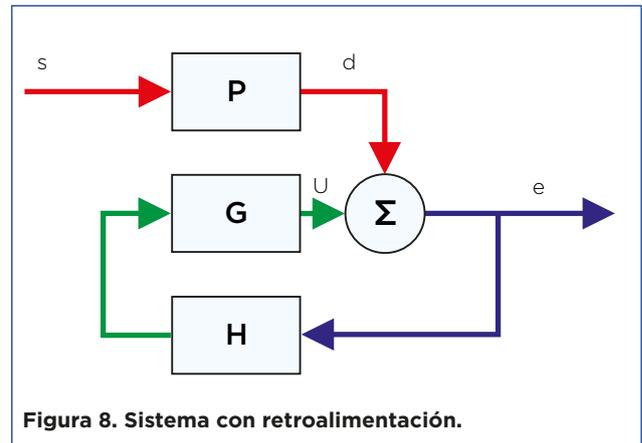


Figura 8. Sistema con retroalimentación.

3.11.3.3. Sistema ANC con retroalimentación

El sistema de control ANC con retroalimentación fue propuesto por Olson y May en el año 1953. En este sistema se utiliza un micrófono como sensor de error para detectar el ruido indeseado. La señal del sensor de error es devuelta a través de un amplificador (filtro electrónico) con una respuesta de magnitud y fase diseñadas para producir la cancelación en el sensor, por medio de un altavoz colocado cerca del micrófono. Esta configuración proporciona únicamente una atenuación limitada para señales de ruido periódicas o con banda de frecuencia limitada, en un rango de frecuencias restringido. También puede sufrir de inestabilidad, debido a la naturaleza predecible de las señales de banda estrecha.

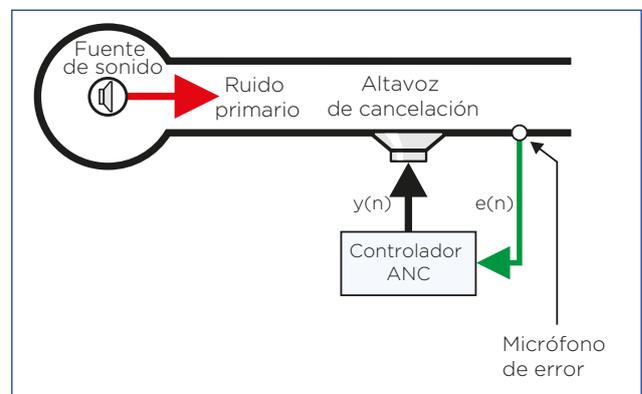


Figura 9. Sistema ANC con retroalimentación.

Una aplicación del sistema ANC con retroalimentación implementada por Olson es controlar el campo acústico en audífonos y protectores de oído. En esta aplicación, el sistema reduce las fluctuaciones de presión en la cavidad cerca del oído del usuario. Esta aplicación ha sido desarrollada y está disponible de manera comercial.

3.11.4. Aplicaciones de sistemas activos de control de ruidos

El control activo de ruido está siendo utilizado en diversas áreas del comercio e industria, con el fin de resolver los problemas producidos por el ruido y la vibración. Algunas aplicaciones conocidas son las siguientes:

- El primer sector en poner en práctica el ANC fue el sector militar hace más de 20 años, utilizándolo en las cabinas de helicópteros para mejorar la comunicación y reducir el nivel sonoro en interior, y más tarde para reducir el nivel sonoro del ruido producido por el rotor. En los helicópteros además del ANC, también se utiliza el ASAC (“Active Structural-Acoustic Control”). El ANC y el ASAC también se aplica en tanques acorazados para reducir el nivel sonoro producido por los potentes motores diesel.
- Reducción del nivel de ruido en cabinas de aviones, coches y camiones. Los fabricantes de vehículos están experimentando con el control de ruido para cancelar el ruido producido por el motor y la carretera.
- En grandes sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado ya se está utilizando de forma experimental sistemas de control activo de ruido en los conductos. Las grandes capacidades de los sistemas de ventilación producen altos niveles de ruido y en muchas áreas. Los métodos convencionales de reducción de ruido tienen como consecuencia la reducción del flujo de aire, lo que a su vez reduce la velocidad de los ventiladores, lo cual a su vez reduce la eficiencia del sistema. Se utilizan controles activos de ruido para atenuar el ruido de baja frecuencia, lo que da como resultado un ambiente acústicamente agradable y a su vez un ahorro de energía en los sistemas de ventilación.
- El control activo de ruido también se está utilizando para el control de ruido en turbinas de aviones y tiene aplicaciones para los escapes de gases de los motores de combustión, tanto para vehículos como para motores de grupos electrógenos.
- El control de ruido es muy utilizado en transmisiones de voz, en especial en situaciones donde el ruido ambiental disminuye la calidad de la comunicación. Por ejemplo, los controladores de pista en aeropuertos, plantas de producción, auriculares, protectores auditivos, etc. Ya existen smartphones con sistemas de cancelación de ruido ambiental para mejorar la comunicación y la inteligibilidad durante la conversación telefónica



4. Confort, seguridad y mediciones

4.1. Confort y aspectos de seguridad del ruido industrial

El entorno acústico influye en la calidad de las áreas de trabajo en tres aspectos: salud (riesgo de sordera), seguridad (problemas de comunicación y detección de señales de peligro) y confort acústico (entorno ruidoso más o menos incómodo).

La legislación destaca que la higiene es más importante que la seguridad y la comodidad. En tales casos, podemos referirnos a estándares internacionales. Como referencia las normas ISO que se aplican a cuestiones de comunicación, seguridad y confort acústico son: ISO 9921, TR 3352, ISO 532, ISO 7196, ISO 8201 (Señales de evacuación de emergencia audibles), ISO 7731 (Señales de peligro para lugares de trabajo - señales de peligro auditivas).

En la mayoría de los países industrializados existen regulación que indican los límites de exposición al ruido de los trabajadores en 3 zonas o niveles:

Valores límite de exposición

$L_{Aeq, d} > 87$ dB(A) y/o $L_{peak} > 140$ dB(C)

(Al aplicar los valores límite se tendrá en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo)

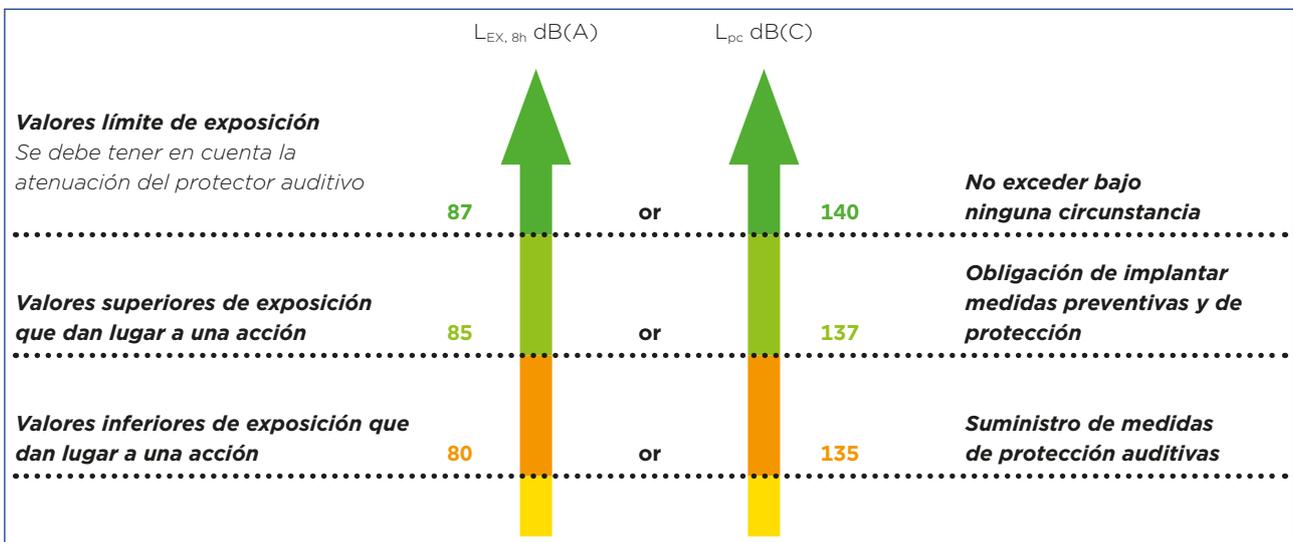
Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción

$L_{Aeq, d} > 85$ dB(A) y/o $L_{pico} > 137$ dB(C)

Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción

$L_{Aeq, d} > 80$ dB(A) y/o $L_{pico} > 135$ dB(C)

La superación de cada uno de los niveles de referencia conlleva una serie de medidas específicas que debe asumir el propietario de la industria:



4.2. Magnitudes acústicas para mediciones y métodos de verificación

Es necesario conocer cuáles son las magnitudes acústicas de medición más utilizadas y métodos de verificación, de cara a la evaluación del ruido existente, de las medidas de control de ruido realizadas y del conocimiento de los valores de aislamiento de los sistemas propuestos.

4.2.1. Magnitudes acústicas de medición

Nivel de presión acústica, L_p

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

donde:

P = es la presión existente, en pascales;

P_0 = es la presión de referencia, es decir, 2×10^{-5} pascales

Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A", L_{pA}

$$L_{pA} = 10 \log \left(\frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

donde:

P_A = es la presión acústica instantánea en pascales

con el filtro de ponderación frecuencial "A";

Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" $L_{Aeq,T}$

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

donde:

T = es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día;

t_1, t_2 = es el tiempo de medición

$P_A(t)$ = es la presión acústica instantánea en pascales con el filtro de ponderación frecuencial "A";

Diferencia de niveles entre recintos, D :

Diferencia, en dB, entre los niveles medios de presión sonora producidos en dos recintos por la acción de una o varias fuentes de ruido emitiendo en uno de ellos, que se toma como recinto emisor. En general es función de la frecuencia.

Se define mediante la expresión siguiente:

$$D = L_1 - L_2 \quad [\text{dB}]$$

siendo:

L_1 nivel medio de presión sonora en el *recinto emisor*, [dB];

L_2 nivel medio de presión sonora en el *recinto receptor*, [dB].

Diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores, D_{nT}

Diferencia entre los niveles medios de presión sonora producidos en dos recintos por una o varias fuentes de ruido emitiendo en uno de ellos, normalizada al valor 0,5 s del tiempo de reverberación. En general es función de la frecuencia.

Se define mediante la expresión siguiente:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

L_1 nivel medio de presión sonora en el *recinto emisor*, [dB];

L_2 nivel medio de presión sonora en el *recinto receptor*, [dB];

T = tiempo de reverberación del recinto receptor, [s];

T_0 = *tiempo de reverberación* de referencia; su valor es $T_0=0,5$ s.

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores, $D_{nT,A}$

Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada, entre *recintos* interiores, D_{nT} , para ruido rosa. Se define por la siguiente expresión:

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad [\text{dBA}]$$

siendo:

$D_{nT,i}$ = diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i , [dB];

$L_{Ar,i}$ = valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dBA];, [dB(A)];

i = todas las bandas de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

Índice de reducción acústica aparente, R'

Aislamiento acústico, en dB, de un elemento constructivo, medido in situ, incluyendo transmisiones indirectas.. Es función de la frecuencia. Se define mediante la expresión siguiente:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [dB]$$

Siendo:

L_1 = nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, [dB];

L_2 = nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];

S = área del elemento constructivo, [m²];

A = área de absorción equivalente del recinto receptor, [m²].

Índice de reducción acústica, R

Aislamiento acústico, en dB, de un elemento constructivo medido en laboratorio. Es función de la frecuencia. Se define mediante la expresión siguiente:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [dB]$$

L_1 = nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, [dB];

L_2 = nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];

S = área del elemento constructivo, [m²];

A = área de absorción equivalente del recinto receptor, [m²].

Índice de reducción acústica por vía indirecta, R_{ij}

Diferencia entre los niveles sonoros de los recintos emisor y receptor, debida a la transmisión acústica por vía indirecta o por flancos.

Índice global de reducción de sonido aparente, ponderado A, de un elemento constructivo, R'_A

Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica aparente, R' , para un ruido incidente rosa, normalizado, ponderado A. Se define mediante la expresión siguiente:

$$R'_A = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{A_i} - R'_i)/10}$$

R'_i = índice de reducción de sonido aparente en la banda de frecuencia i , [dB];

$L_{A,i}$ = valor del espectro del ruido rosa normalizado, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dB(A)];

i = recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

Índice global de reducción acústica aparente, R'_w

Valor en decibelios de la curva de referencia, a 500 Hz, ajustada a los valores experimentales del índice de reducción acústica aparente, R' .

Índice global de reducción acústica, ponderado A, de un elemento constructivo, R_A

Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica, R , para un ruido incidente rosa normalizado, ponderado A.

Los índices de reducción acústica se determinarán mediante ensayo en laboratorio. A partir de los valores del índice de reducción acústica R , obtenidos mediante ensayo en laboratorio, este índice se define mediante la expresión siguiente:

$$R_A = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{A_i} - R_i)/10}$$

R_i = valor del índice de reducción acústica en la banda de frecuencia i [dB];

$L_{A,i}$ = valor del espectro del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dB(A)];

i = recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

De forma aproximada puede considerarse que $R_A = R_w + C$.

Índice global de reducción acústica, ponderado A, para ruido exterior dominante de automóviles, R_{Atr}

Valoración global, en dBA, del índice de reducción acústica, R' , para un ruido exterior de automóviles. Se define mediante la expresión siguiente:

$$R_{Atr} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Atr,i} - R_i)/10}$$

R_i = valor del índice de reducción acústica en la banda de frecuencia i , [dB];

$L_{Atr,i}$ = valor del espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dB(A)];

i = recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

De forma aproximada puede considerarse que $R_{Atr} = R_w + C_{tr}$

Índice global de reducción acústica, R_w

Valor en decibelios de la curva de referencia, a 500 Hz, ajustada a los valores experimentales del índice de reducción acústica, R según el método especificado en la UNE EN ISO 717-1.

Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT}

Nivel de presión sonora medio, en dB, en el recinto receptor normalizado a un tiempo de reverberación de 0,5 s, cuando el elemento constructivo de separación respecto al recinto emisor es excitado por la máquina de impactos normalizada. Es función de la frecuencia. Se define mediante la expresión siguiente:

$$L'_{nT} = L - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

L = nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];

T = tiempo de reverberación del recinto receptor, [s];

T_0 = tiempo de reverberación de referencia; su valor es $T_0 = 0.5$ s.

Nivel de presión de ruido de impactos normalizado de un elemento constructivo horizontal, L_n

Nivel de presión sonora medio en el recinto receptor referido a una absorción de 10 m², con el elemento constructivo horizontal montado como elemento de separación respecto al recinto superior. Tal elemento es excitado por la máquina de impactos normalizada, en condiciones de ensayo en laboratorio (carencia de transmisiones indirectas). Es función de la frecuencia.

$$L_n = L + 10 \log \frac{A}{10} \quad [\text{dB}]$$

Se define mediante la expresión siguiente:

L = nivel medio de presión de ruido de impactos en el recinto receptor, [dB];

A = área de absorción equivalente del recinto receptor, [m²].

Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ, $L'_{n,w}$

Es el valor a 500 Hz de la curva de referencia ajustada a los valores experimentales de nivel de presión de ruido de impactos normalizado, L'_n . Si los niveles experimentales están dados para bandas de octava, el valor a 500 Hz se reduce en 5 dB.

Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ, L'_n

Es el nivel de presión sonora medio en el recinto receptor normalizado a una absorción acústica de 10 m², cuando el elemento constructivo de separación respecto al recinto superior es excitado por la máquina de impactos normalizada. Es función de la frecuencia. Se define mediante la expresión siguiente:

$$L'_n = L + 10 \log \frac{A}{10} \quad [\text{dB}]$$

L = nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];

A = área de absorción equivalente del recinto receptor, [m²].

4.2.2. Métodos de verificación

Las fuentes acústicas, los dispositivos de control del ruido, la propagación del sonido, los niveles de ruido en áreas de trabajo y el aislamiento acústico se definen por medio de magnitudes acústicas. Estas magnitudes acústicas se determinan o acuerdan con frecuencia en planes, programas y contratos. El valor de estas magnitudes acústicas y el éxito de las medidas de control de ruido deben ser verificables in situ. Siempre debe tenerse en cuenta la incertidumbre al comparar estos valores con los verificados.

Mediciones acústicas

Las mediciones del nivel de ruido requieren experiencia y conocimiento teórico de los parámetros que se van a medir y del funcionamiento de los equipos de medición.

Los principios que se describen a continuación pueden ayudar a comprender las características específicas de estos importantes aspectos del control de ruido.

ISO 1996 "Acústica: Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental" explica los aspectos principales en referencia a las mediciones en el ámbito ambiental. Para la evaluación de ruido en el ámbito laboral, se puede aplicar ISO 9612 "Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo".

En una forma conceptual, los niveles de ruido medidos se dividen en equivalentes e instantáneos. Los primeros siguen los cambios en el nivel acústico con más o menos celeridad (rápido, lento, impulso), y los segundos evaluarán la energía acústica total recibida en un tiempo dado (Leq, etc.). Todas estas magnitudes pueden determinarse con diferentes ponderaciones de frecuencia (A, C, lineal).

El nivel de pico (LpK) es un parámetro que caracteriza el componente de impulsiva del ruido.

Equipos de medida

Las características técnicas que deben mostrar los diferentes equipos de medición se reflejan en los estándares CEI 61672 y CEI 60804. Los equipos utilizados con mayor frecuencia son: sonómetros (mediciones instantáneas) y sonómetros para integración y promediación (niveles equivalentes). Se clasifican según su precisión (0 a 2), siendo el tipo 1 el más preciso para las mediciones de campo.

Los equipos de medición de nivel de ruido se deben calibrar y verificar periódicamente, antes y después de cada medición, con un "pistófono" correctamente calibrado.

Métodos de medida

Los estándares generalmente dan las instrucciones respecto a los métodos de medida, y se tendrán en cuenta entre otros los siguientes:

- Ausencia de superficies reflectantes en el ambiente (1,2 m de altura y 1,5 m hasta la superficie más cercana).
- Ruido de fondo inferior a 10 dB en el nivel de medición.
- Uso de pantallas de protección contra el viento, cuando sea necesario.

Fuentes sonoras

La declaración de emisión de ruido de una maquina puede verificarse utilizando los métodos dados en ISO 4871. Los datos de emisión de ruido deben verificarse utilizando el código de prueba de ruido específico de la máquina y los estándares básicos para la medición de emisión de ruido (serie ISO 3740, serie ISO 9614 e ISO Serie 11200). Al verificar los valores declarados, es esencial que las condiciones de operación y montaje sean las mismas que las especificadas en la declaración de emisión de ruido o los documentos de la máquina. Las medidas de control del ruido se evalúan determinando la diferencia en la emisión de ruido.

Sistemas de control de ruido

La efectividad de los dispositivos de control de ruido se puede medir y verificar utilizando la pérdida de inserción, la pérdida de transmisión o la reducción de los niveles de presión sonora. El comprador y el vendedor deben acordar qué descriptor usar.

Áreas de trabajo

La calidad acústica de las áreas de trabajo y oficinas se puede evaluar utilizando los siguientes parámetros de propagación del sonido: decaimiento espacial (DL2), exceso (DLf) del nivel de presión acústica y tiempo de reverberación. Estas tres cantidades se pueden medir o calcular (ver ISO 11690-3). En la etapa de planificación se deben de calcular y acordar los valores entre las partes. Siempre se debe ser necesario verificar los valores calculados iniciales con las mediciones acústicas realizadas in situ.

Método de verificación: Se debe usar una fuente de sonido omnidireccional de potencia de ruido conocida. La fuente debe ubicarse cerca del suelo con todos los puntos de medición configurados a la misma altura. La propagación del sonido debe determinarse para el

nivel de presión sonora general con una distribución de frecuencia dada o en bandas de octava. Normalmente, se mide en una zona que garantiza una vía libre entre la fuente y el punto de medición. Al comparar los valores dados y los verificados, es esencial que la distribución y las distancias sea las mismas. La efectividad del control de ruido y la inmisión de ruido se puede determinar y

verificar teniendo en cuenta el nivel de presión acústica en posiciones específicas, normalmente las áreas o zonas de trabajo. Las situaciones antes y después de las medidas de control de ruido se pueden comparar solo si las condiciones de operación y el método de medición utilizados son idénticos.



5. Ejemplos de control de ruido

5.1. Tratamientos absorbentes

La mayoría de los recintos industriales están expuestos a niveles sonoros que perturban la actividad normal y el bienestar de las personas y de los trabajadores. El ruido que se genera en los locales por fuentes internas es muy variado y procede desde unos pocos focos localizados hasta un número importante de focos no localizados y distribuidos por todo el local de manera aleatoria.

Evidentemente, problemas diferentes exigen soluciones diferentes, con frecuencia, además, el problema exige más de una solución simultáneamente.

El tratamiento absorbente es el más adecuado cuando el número de focos ruidosos es importante, aunque su nivel sonoro no sea elevado de forma individual.

Si la distribución de estos focos es muy extensiva en un local o son móviles, se genera un ruido importante que sólo es posible reducirlo mediante acciones en el campo reverberado, dentro de las limitaciones que supone, aumentando el valor de área absorbente del recinto. El valor medio de reducción sonora en un local, supuesto un campo reverberado difuso, modificando su área absorbente es:

$$\Delta L = 10 \log \frac{A_1}{A_0} = 10 \log \frac{T_0}{T_1} \quad [\text{dB}]$$

ΔL = Reducción del nivel sonoro medio en el local.

A_1 = Área absorbente del local aumentada, en m².
[m²]

A_0 = Área absorbente del local inicialmente, en m².

T_0 = Tiempo de reverberación del local inicialmente, en s.

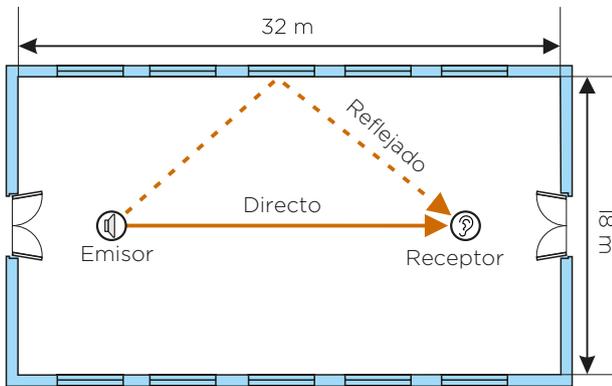
T_1 = Tiempo de reverberación del local aumentada la absorción, en s.



Para conseguir las mejoras de absorción se pueden utilizar:

- Techos acústicos constituidos por paneles rígidos de lana mineral, con elementos funcionales decorativos en su parte vista, que se instalan suspendidos del techo mediante perfilierías vistas u ocultas (productos Ecophone y Eurocusic de Saint-Gobain) .
- Baffles acústicos formados por placas absorbentes montadas en marcos rígidos formando figuras geométricas que se suspenden del techo. Las figuras son variadas, pero principalmente son paralelepípedos estrechos y cilindros.
- Murales acústicos consistentes en paneles decorativos de formas planas u onduladas, susceptibles de instalarse paralelos a los cerramientos verticales, y compuestos por elementos absorbentes acústicos. La característica funcional importante de todos estos sistemas es su espectro de coeficiente de absorción con la frecuencia.



Ejemplo

Se trata de conocer la disminución general del nivel sonoro en una nave industrial de dimensiones 32 m de longitud, 18 m de ancho y 5 m de altura cuyas características tipológicas y de ocupación son las adjuntas:

Superficies de los cerramientos de nave industrial

• Techo-cubierta de panel sándwich con chapa lisa por la parte interior	576 m ²
• Paramentos verticales de cierre de hormigón armado visto	468 m ²
• Puertas de chapa de acero 2 unds de 4 x 4 m = 32 m ²	
• Solera de pavimento de hormigón, pintado	576 m ²
• Ocupación:	20 personas
• Volumen del recinto:	2,880 m ³

Coefficiente de absorción acústica de los materiales del interior

• Valor medio del coeficiente de absorción acústica para frecuencias de 100 Hz a 5,000 Hz	
• Techo-cubierta	0.01
• Paramento Hormigón	0.03
• Puertas	0.01
• Solera de hormigón	0.015
• Una persona	0.40

a) Cálculo del tiempo de reverberación del recinto

En primer lugar el área absorbente existente se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = \sum \alpha_i S_i$$

Cerramiento	S [m ²]	α	A [m ²]
Techo-cubierta	576.0	0.01	5.8
Paredes Hormigón	468.0	0.03	14.0
Puertas	32.0	0.01	0.3
Solera	576.0	0.015	8.6
Trabajadores	20.0	0.4	8.0
Área absorbente [m²]			36.76

De acuerdo con la teoría de Sabine, el tiempo de reverberación del recinto viene dado por la expresión:

$$T_0 = \frac{0.161V}{A_0}$$

V = Volumen del recinto	2,880.00 m ³
A ₀ = Área absorbente inicial	36.76 m ²

$$T_0 = 12.61 \text{ s}$$

b) Cálculo del tiempo de reverberación con tratamiento absorbente del recinto

Con techo y una franja de 2 metros de altura con material absorbente formado por TECH SLAB 3.0 G1 de 50 mm de espesor, recubierto por una chapa perforada galvanizada de 0,8 mm de espesor, perforación de 5 mm de diámetro, a tresbolillo, y un 60% de perforación. La franja perimetral será de 2 metros excepto en la parte superior de las puertas que será de 1 m.

Surfaces of the industrial building enclosures

• Techo-cubierta de panel sándwich con chapa lisa por la parte interior	576 m ²
• Franja perimetral absorbente	200 m ²
• Paramentos verticales de cierre de hormigón armado visto	268 m ²
• Puertas de chapa de acero 2 und. de 4 x 4 m = 32 m ²	
• Solera de pavimento de hormigón, pintado	576 m ²
• Ocupación	20 personas
• Volumen del recinto	2,880 m ³

Coefficiente de absorción acústica de los materiales del interior

• Valor medio del coeficiente de absorción acústica para frecuencias de de 100 Hz a 5,000 Hz	
• Material Absorbente TECH SLAB 3.0 G1:	0.90
• Parámetro Hormigón	0,03
• Puertas	0.01
• Solera de hormigón	0.015
• Una persona	0.40

En primer lugar, para el cálculo del tiempo de reverberación y del área absorbente se utiliza la expresión de Millington-Sette, ya que existen varias superficies con coeficientes de absorción muy diferentes entre sí, y se utiliza la expresión siguiente:

$$A_1 = - \sum S_i \ln(1 - \alpha_i)$$

Cerramiento	S [m ²]	α	A [m ²]
Techo absorbente	576.0	0.90	1,326.3
Franja perimetral Absorbente	200.0	0.90	460.5
Paredes Hormigón	268.0	0.03	8.2
Puertas	32.0	0.01	0.3
Solera	576.0	0.015	8.7
Trabajadores	20.0	0.4	10.2
Área absorbente A ₁ [m ²]			1,814.21

$$T_{60} = \frac{0.161V}{-\sum_i S_i \ln(1 - \alpha_i)}$$

V = Volumen del recinto	2,880.00 m ³
A ₀ = Área absorbente inicial	1,814.21 m ²

$$T_0 = 0.26 \text{ s}$$

c) Reducción del nivel de presión sonora, en el campo reverberado

La reducción del nivel de presión sonora puede calcularse en función del área absorbente del recinto, sin y con tratamiento absorbente acústico, y también en función de los tiempos de reverberación obtenidos.

Con los datos de Área absorbente

$$\Delta L = 10 \log \frac{A_1}{A_0}$$

$$\Delta L = 16.9 \text{ dB}$$

Con los datos de tiempos de reverberación

$$\Delta L = 10 \log \frac{T_0}{T_1}$$

$$\Delta L = 16.8 \text{ [dB]}$$

Conviene precisar, que la reducción sonora media calculada se produce en las zonas de campo reverberante y no en el campo próximo de la fuente. Estos mismos cálculos se pueden realizar por cada banda de octava, a partir de los valores del coeficiente de absorción por bandas de octava de cada uno de los materiales, consiguiendo así la reducción sonora que se produce por bandas de frecuencia.

5.2. Control de ruido en conductos

Una vía típica de transmisión de ruidos aéreos la constituyen los sistemas de conductos de climatización y ventilación, así como los sistemas de aspiración y expulsión de aire en cabinas. Las soluciones de amortiguación del sonido más frecuentes pasan por las técnicas de absorción acústica. Un conducto de suficiente longitud respecto a su sección puede atenuar el sonido en su interior de acuerdo a la siguiente expresión empírica:

$$\Delta L = 1.05 \cdot \alpha^{1.4} \cdot \frac{P}{S} \quad \text{dB/m}$$

siendo: P = Perímetro interior del conducto, en m.
 ΔL = Amortiguación del sonido por unidad de longitud del conducto. S = Sección interior del conducto, en [m²]
 α = Coeficiente de absorción del material interior del conducto en α -Sabine.

Ejemplo

Calcular el nivel sonoro resultante después de 5 m de conducto en diferentes configuraciones: metálico, autoportante de lana de vidrio CLIMAVER® PLUS R, CLIMAVER® neto, y CLIMAVER® APTA de sección 400 x 200 mm si la fuente sonora es un ventilador helicoidal (5 kW) que mueve un caudal de aire de 25.000 m³/h, venciendo una pérdida de carga de 35 mm de columna de agua.

La potencia sonora generada por un ventilador puede estimarse utilizando la fórmula de Madison-Graham o la fórmula de Allen:

$$L_w = 25 + 10 \log Q + 20 \log P$$

$$L_w = 77 + 10 \log W + 10 \log P$$

Q = caudal de aire en m ³ /h	25,000 m ³ /h
P = presión estática (mm cda)	35 mm cda
W = potencia del ventilador (Kw)	5 kW

Por lo que el nivel de potencia sonora del ventilador sería:

L_w 99.9 dB

L_w 99.4 dB

Si se introducen los coeficientes correctores para un ventilador helicoidal (no indicados) se tendrá el siguiente espectro de ruido:

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_w [dB] ventilador	95.5	91.8	92.7	90.2	88.1	87.8	86	79.1	99.9

Se determina el nivel de presión sonora a 1 m del ventilador en su boca de impulsión según expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

Q = factor directividad. $\frac{1}{r}$
 r = distancia (m) $\frac{1}{1 \text{ m}}$

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_w [dB] ventilador a 1m	84.5	80.8	81.7	79.2	77.1	76.8	75.0	68.1	100.2

Coefficientes de absorción acústica de los materiales que componen el conducto con un plenum mayor de 25 cm:

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Metálico		0.07	0.07	0.19	0.19	0.10	0.10	
CLIMAVER® PLUS R		0.20	0.20	0.20	0.60	0.50	0.40	
CLIMAVER® NETO		0.35	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	
CLIMAVER® APTA		0.40	0.60	0.80	0.90	0.90	0.90	

Es necesario calcular la relación P/S del conducto bajo estudio.

$$\frac{P}{S} = \frac{0.2 * 2 + 0.4 * 2}{0.2 * 0.4} = 15$$

Aplicando la fórmula podemos obtener la atenuación correspondiente a 10 m de longitud:

$$\Delta L = 1.05 \cdot \alpha^{1.4} \cdot \frac{P}{S} \quad [dB/m]$$

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Metálico		1.9	1.9	7.7	7.7	3.1	3.1	
CLIMAVER® PLUS R		8.3	8.3	8.3	38.5	29.8	21.8	
CLIMAVER® NETO		18.1	43.1	52.6	62.7	68.0	68.0	
CLIMAVER® APTA		21.8	38.5	57.6	68.0	68.0	68.0	

Con el espectro del nivel de presión acústica del ventilador a 1 metro y la atenuación del conducto, podemos calcular el nivel de presión acústica a una distancia de 6 metros de la fuente (5 + 1 metro).

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L _p (dB) ventilador a 6 m Cond. Metálico		78.9	79.8	71.5	69.4	73.7	71.9		83.7
L _p (dB) ventilador a 6 m CLIMAVER® PLUS R		72.5	73.4	70.9	38.6	47.0	53.2		77.2
L _p (dB) ventilador a 6 m CLIMAVER® NETO		62.7	38.6	26.6	14.4	8.9	7.1		62.7
L _p (dB) ventilador a 6 m CLIMAVER APTA		59.0	43.2	21.6	9.2	8.9	7.1		59.1

Para obtener los valores en dB(A), se debe aplicar la curva de ponderación A a los valores anteriores

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Corrección A	-26.0	-16.0	-9.0	-3.2	0.0	1.2	1.0	- 1.1

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
L_p [dBA] ventilador a 6 m Cond. Metálico		62.9	70.8	68.3	69.4	74.9	72.9		79.0
L_p [dBA] ventilador a 6 m CLIMAVER® PLUS R		56.5	64.4	67.7	38.6	48.2	54.2		69.8
L_p [dBA] ventilador a 6 m Cond. Metálico		46.7	29.6	23.4	14.4	10.1	8.1		46.8
L_p [dBA] ventilador a 6 m CLIMAVER® APTA		43.0	34.2	18.4	9.2	10.1	8.1		43.5

Es cierto que los valores anteriores resultantes son teóricos y no representan la atenuación efectiva ya que los valores reales obtenidos en una red de conductos, además del ruido del ventilador, dependen de otra serie de factores como la velocidad del aire, el tipo de derivaciones, rejillas, difusores, cambios de sección, etc.

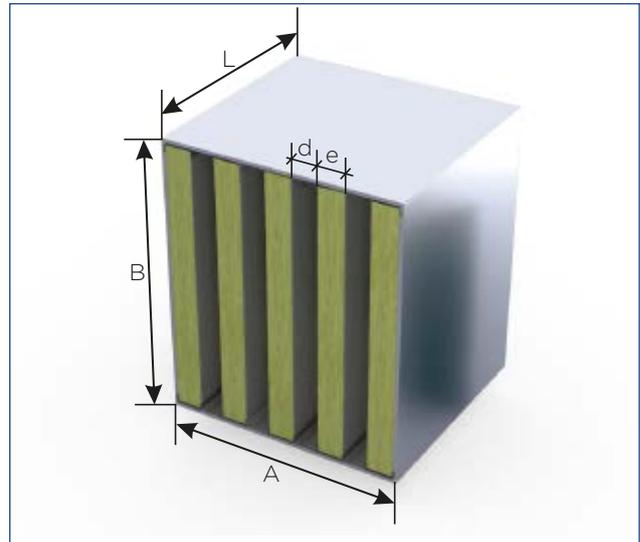
5.3. Silenciadores

Otra solución para reducir el ruido en conductos de ventilación y climatización es la instalación de silenciadores acústicos de absorción.

Ejemplo

Calcular el nivel sonoro resultante después de insertar un silenciador de dimensiones 1,5 m de ancho, H metros de altura, 1,2 m de longitud, colisas de 200 mm y paso de aire 100 mm si la fuente sonora es un ventilador helicoidal (5 kW) que mueve un caudal de aire de 24.300 m³/h, venciendo una pérdida de carga de 35 mm de columna de agua. Dato de partida: Nivel de potencia del ventilador lado impulsión.

Los niveles de potencia por bandas de octava del ventilador son los siguientes:



F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_w [dB] Ventilador	93.7	94.5	95.4	92.3	88.1	87.8	86	79.1	100.8

Se determina el nivel de presión sonora a 1 metro del ventilador en su boca de impulsión según la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

Q = factor directividad	1
r = distancia (m)	1 m

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_p [dB] ventilador a 1 m	82.7	83.5	84.4	81.3	77.1	76.8	75.0	68.1	100.2

Calculo de las dimensiones del silenciador para un velocidad de paso de 10 m/s.

$$v = \frac{Q}{S}$$

Q = Caudal de aire en m ³ /h	24300 m ³ /h	Número de canales W/(colisa+paso de aire)	5
S = Sección de paso de aire	0.5 H m ²	Ancho de paso de aire	0.1 m
Ancho silenciador	1.5 m	H = height	1.35 m

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Atenuación Silenciador 1200 mm de longitud (100 paso de aire y 200 mm de colisa)	6.0	12.0	25.0	38.0	47.0	45.0	35.0	28.0

Con el espectro del nivel de presión sonora del ventilador a 1 m y la atenuación del silenciador, podemos calcular el nivel de presión sonora a la salida del silenciador

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_p [dB] Salida silenciador	76.7	71.5	59.4	43.3	30.1	31.8	40.0	40.1	77.9

Para obtener los valores en dB(A) debemos aplicar la curva de ponderación A a los valores anteriores

F (Hz)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Ponderación A	-26.0	-16.0	-9.0	-3.2	0.0	1.2	1.0	-1.1

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
L_p [dB(A)] Salida silenciador	50.7	55.5	50.4	40.1	30.1	33.0	41.0	39.0	57.9

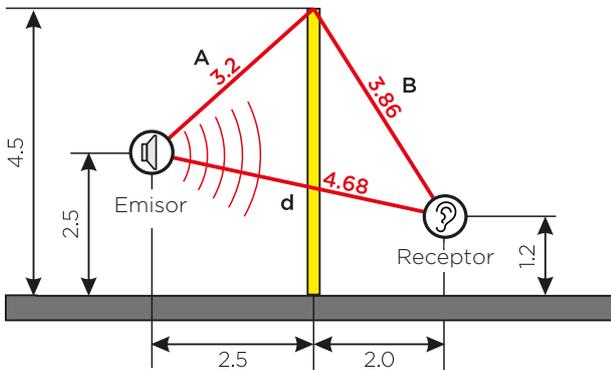
Conviene precisar, que los anteriores valores resultantes son teóricos y no representan la atenuación efectiva ya que los valores reales que se obtienen dependen de la terminación acústica del silenciador, del nivel de ruido de fondo, reflexiones al final del silenciador, etc..., pero sirven para tener unos valores de cálculo previos a la instalación.

5.4. Barreras acústicas

Ejemplo

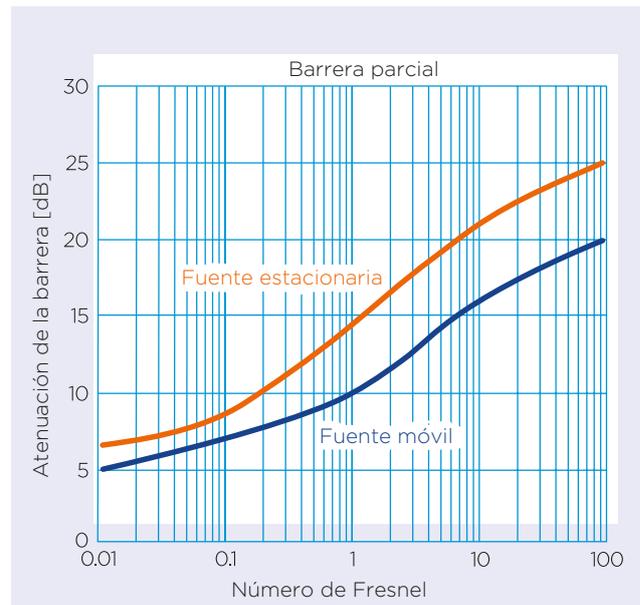
Calcular el nivel sonoro resultante en el receptor situado a 4,5 m de la fuente sonora, si se coloca una pantalla acústica a 2 m de la fuente y a 2,5 m del receptor s/ el croquis siguiente, y conociendo el nivel sonoro en tercios de octava en el receptor sin pantalla acústica.

Altura de la pantalla	4.5 m
Altura del receptor	2.5 m
Altura de la fuente	1.2 m



En primer lugar es necesario calcular el número de Fresnel por cada frecuencia en función de A, B y d, para posteriormente calcular la atenuación acústica s/ grafica adjunta consideran fuente estacionaria.

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d)$$



ATENUACIÓN DE LA BARRERA ACÚSTICA

Atenuación [dB]	Nº Fresnel	A [m]	B [m]	d [m]	λ [m]	Frecuencia [Hz]
15.5	1.40	3.2	3.86	4.68	3.400	100
15.8	1.75	3.2	3.86	4.68	2.720	125
16.6	2.24	3.2	3.86	4.68	2.125	160
17.3	2.80	3.2	3.86	4.68	1.700	200
18.3	3.50	3.2	3.86	4.68	1.360	250
18.8	4.41	3.2	3.86	4.68	1.079	315
19.3	5.60	3.2	3.86	4.68	0.850	400
20.3	7.00	3.2	3.86	4.68	0.680	500
20.8	8.82	3.2	3.86	4.68	0.540	630
20.9	11.20	3.2	3.86	4.68	0.425	800
21.4	14.00	3.2	3.86	4.68	0.340	1000
21.8	17.50	3.2	3.86	4.68	0.272	1250
22.3	22.40	3.2	3.86	4.68	0.213	1600
22.8	28.00	3.2	3.86	4.68	0.170	2000
23.3	35.00	3.2	3.86	4.68	0.136	2500
23.6	44.10	3.2	3.86	4.68	0.108	3150
23.8	56.00	3.2	3.86	4.68	0.085	4000
24.4	70.00	3.2	3.86	4.68	0.068	5000
24.8	88.20	3.2	3.86	4.68	0.054	6300
25.1	112.00	3.2	3.86	4.68	0.043	8000
25.4	140.00	3.2	3.86	4.68	0.034	10000

Aplicando la atenuación acústica a los niveles de presión sonora existentes conseguimos los niveles de presión sonora en receptor con las barreras acústicas instalada, incluyendo la corrección por ponderación de la curva A.

Frecuencia [Hz]	L _{eq} inicial receptor [dB]	L _{eq} final receptor [dB]	L _{eq} inicial receptor [dB(A)]	L _{eq} final receptor [dB]	Ponderacion A	Perdida transmisión (TL) [dB(A)]
100	70.1	54.6	51.0	35.5	-19.1	15.50
125	64.8	49.0	48.7	32.9	-16.1	15.80
160	72.1	55.5	58.7	42.1	-13.4	16.60
200	69.2	51.9	58.3	41.0	-10.9	17.30
250	68.2	49.9	59.6	41.3	-8.6	18.30
315	69.9	51.1	63.3	44.5	-6.6	18.80
400	68.8	49.5	64.0	44.7	-4.8	19.30
500	70.7	50.4	67.5	47.2	-3.2	20.30
630	66.1	45.3	64.2	43.4	-1.9	20.80
800	66.6	45.7	65.8	44.9	-0.8	20.90
1,000	63.2	41.8	63.2	41.8	0.0	21.40
1,250	66.3	44.5	66.9	45.1	0.6	21.80
1,600	71.8	49.5	72.8	50.5	1.0	22.30
2,000	61.9	39.1	63.1	40.3	1.2	22.80
2,500	56.2	32.9	57.5	34.2	1.3	23.30
3,150	59.7	36.1	60.9	37.3	1.2	23.60
4,000	52.5	28.7	53.5	29.7	1.0	23.80
5,000	52.5	28.1	53.0	28.6	0.5	24.40
6,300	51.1	26.3	51.0	26.2	-0.1	24.80
8,000	48.4	23.3	47.3	22.2	-1.1	25.10
10,000	46.0	20.6	43.5	18.1	-2.5	25.40
AP	80.3	61.8	77.0	55.9		-21.04

Conviene precisar, que la reducción sonora media calculada se produce en la zona de sombra de la pantalla acústica, con valores de Numero de Fresnel mayores que 1. Según el receptor se aleja de la pantalla disminuye considerablemente el efecto pantalla, y a partir de una distancia prácticamente no se produce atenuación para valores del número de Fresnel < 0,02.

Los niveles de presión sonora han caído de los 77.0 dB(A) iniciales a los 55.9 dB(A) finales.

5.5. Cerramientos acústicos

Ejemplo

Calcular el nivel sonoro resultante a 5 metros de distancia después de instalar un cerramiento acústico a una fuente puntual de espectro de potencia acústico conocido.

El cerramiento acústico está formado por paneles acústicos desmontables formados desde el exterior al interior por una chapa galvanizada de 1,0 mm de espesor, un núcleo interno panel de lana de roca de 80 mm de espesor de TECH SLAB 3.0 G1, y una chapa perforada galvanizada de 0,8 mm de espesor.

Dimensiones del cerramiento:

6 m longitud x 3 m anchura x 3 m altura

Dimensiones de la fuente sonora:

4 m longitud x 3 m anchura x 3 m altura

Los niveles de potencia por bandas de octava de la fuente puntual son

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_w [dB] Fuente	94.1	96.2	98.8	97.5	95.4	91.3	90.0	89.7	104.3

Los valores de pérdidas de inserción del cerramiento acústico que se instala alrededor de la fuente es

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
R [dB] Cerramiento Acústico	11.0	12.0	14.0	17.0	21.0	25.0	27.0	27.0

Los valores del coeficiente de absorción de la cara interna del cerramiento en bandas de frecuencia son

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
α Cerramiento Acústico	0.15	0.40	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Los valores del coeficiente de absorción de la fuente sonora en bandas de octava son

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
α Fuente	0.05	0.05	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Los valores del coeficiente de absorción de la solera de hormigón donde se apoya la fuente puntual son

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
α Suelo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

$$L_{w \text{ engine with enclosure}} = L_{w \text{ engine without enclosure}} + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right) - R + 10 \log S$$

$$A = \frac{S\alpha}{1 - \alpha}$$

S = Superficie de cerramiento	72 m ²
S _s = Superficie de la Fuente sonora	24 m ²
R = Superficie del suelo	14 m ²

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
A	14.0	42.0	131.7	233.9	233.9	233.9	233.9	233.9

Ahora, calculamos $L_{w \text{ engine with enclosure}}$ a partir de la fórmula anterior:

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
$L_{W \text{ motor sin Cerramiento [dB]}$	94.1	96.2	98.8	97.5	95.4	91.3	90.0	89.7	104.3
$10 \log(4/A)$	-5.4	-10.2	-15.2	-17.7	-17.7	-17.7	-17.7	-17.7	
-R	-11.0	-12.0	-14.0	-17.0	-21.0	-25.0	-27.0	-27.0	
$10 \log S$	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	
$L_{W \text{ motor con Cerramiento [dB]}$	96.2	92.6	88.2	81.4	75.3	67.2	63.9	63.6	98.4

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

Q_{source}	2
r = distancia desde la fuente	5 m

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_p [dB] a 5 m. de la fuente sonora	74.3	70.6	66.2	59.4	53.3	45.2	41.9	41.6	76.4

Para obtener los valores en dB(A) debemos aplicar la curva de ponderación A a los valores anteriores

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Corrección A	-26.0	-16.0	-9.0	-3.2	0.0	1.2	1.0	-1.1

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB(A)
L_p [dB(A)] a 5 m	48.3	54.6	57.2	56.2	53.3	46.4	42.9	40.5	62.0

Conviene precisar, que los anteriores valores resultantes son teóricos y existen más variables tales como reflexiones en el suelo, y otros efectos que influyen en el nivel de presión sonora resultante. Normalmente se utilizan unos márgenes de seguridad de ± 3 dB, por lo que el valor resultante de este ejemplo sería 62.0 ± 3 dB(A).

5.6. Control de ruido en tuberías

Ejemplo

Calcular el nivel sonoro resultante situado a 1 metro de una tubería de 6" la fuente sonora, si se coloca un aislamiento en base de TECH PIPE SECTION MT 4.1 de 50 mm de espesor y una protección metálica de aluminio de 0,8 mm de espesor, conociendo el nivel presión sonora a 1 m de distancia con la tubería sin aislamiento. Las pérdidas de inserción de la tubería corresponden a una clasificación A.

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_p [dB] 1 m	78.0	82.0	80.0	79.0	78.0	78.0	77.0	73.0	87.8

Para obtener los valores en dB(A) debemos aplicar la curva de ponderación A a los valores anteriores

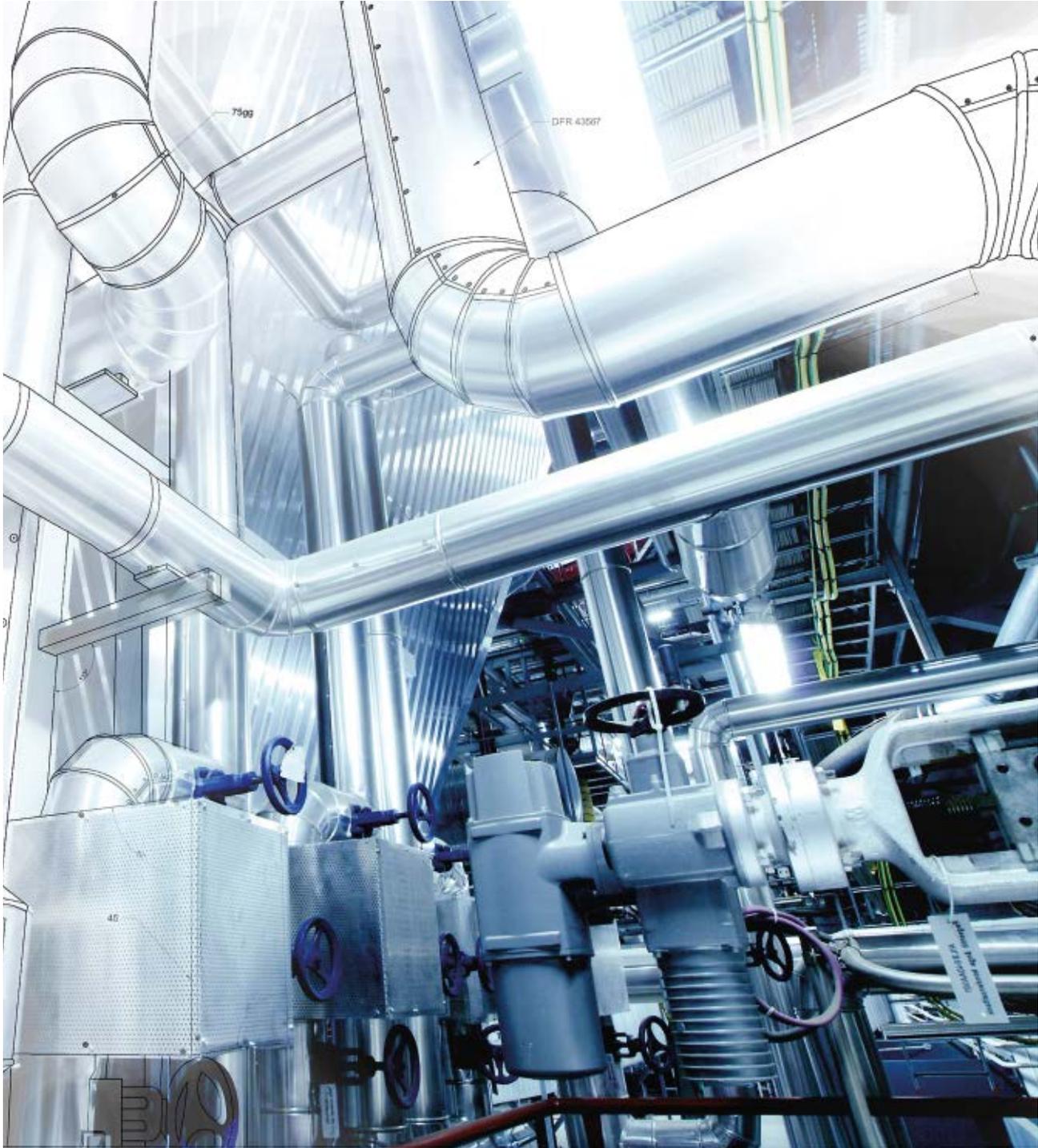
F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
IL [dB] 1 m	0.0	0.0	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	20.0

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dB
L_p [dB] 1 m con aislamiento	78.0	82.0	80.0	74.0	68.0	63.0	57.0	53.0	85.5

Conviene precisar, que los niveles sonoros resultantes corresponden para una instalación de aislamiento con la suficiente longitud para no considerar las aportaciones al nivel de presión sonora por las partes más alejadas de la tubería. En el caso de que sea solo una parte de longitud L la que va aislada, habría que considerar la tubería como una fuente lineal, o introducir una serie de factores que incrementen el nivel sonoro por las aportaciones laterales.

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Corrección A	-26.0	-16.0	-9.0	-3.2	0.0	1.2	1.0	-1.1

F [Hz]	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	dBA
L_p [dBA] At 5 m	52.0	66.0	71.0	70.8	68.0	64.2	58.0	51.9	75.9



6. Documentación & Apéndice





1. Datos científicos y técnicos264

1.1. Definición de símbolos	264
1.2. Diferencias máximas de temperatura entre la superficie y el aire ambiente para evitar la condensación (punto de rocío)	265
1.3. Longitud equivalente para instalación "puentes térmicos" (ISO 12241)	266
1.4. Velocidad del viento	267
1.5. Velocidad media en tuberías.....	268
1.6. Conversión de unidades de potencia	268
1.7. Conversión de unidades de energía	269
1.8. Emisiones específicas de CO ₂ de varias fuentes de energía.....	269
1.9. Emisividad del sistema de revestimiento	270
1.10. Tiempo promedio de trabajo en plantas industriales	270
1.11. Poder calorífico medio de los combustibles (VDI 4608-2)	271
1.12. Conversión de unidades para parámetros térmicos	272
1.13. Factor de resistencia al vapor de agua para materiales aislantes (ISO 10456)	272
1.14. Espesor de la capa de aire equivalente a la difusión de vapor de agua (ISO 10456)	273
1.15. Temperaturas medias de los países del mundo.....	274

2. Soluciones Aislamiento Industrial ISOVER - Fichas Técnicas277

TECH Pipe Section MT 4.0.....	278
TECH Pipe Section MT 4.1.....	279
TECH Roll 2.0 Alu2	280
TECH Slab 3.0	281
TECH Slab 2.1.....	282
TECH Slab MT 3.1	283
TECH Slab MT 5.1	284
TECH Slab HT 6.1.....	285
TECH Wired Mat MT 3.1	286
TECH Wired Mat MT 4.2.....	287
TECH Wired Mat MT 5.1.....	288
TECH Wired Mat MT 5.1 ALU1	289
TECH Wired Mat MT 6.1.....	290
U TECH Pipe Section MT 4.0	291
U Protect Pipe Section Alu2	292
TECH Loose HT/EX	294
TECH Slab 2.1 V2.....	295
TECH Slab MT 2.2 V2	296
TECH Slab 3.0 G1	297
U TECH Wired Mat 4.0.....	298
U TECH Roll MT 4.0 V1	299
CRYOLENE 681 AA & VV	300
CRYOLENE 682 AA & VV	302
CRYOLENE 684 AA & VV	304
TECH TELISOL 5.0 QN.....	306

Documentación & Apéndice

1. Datos científicos y técnicos

1.1. Definición de símbolos

Símbolo	Definición	Unidad
A	Área	m^2
a^r	Factor de temperatura	K^3
C_r	Coefficiente de radiación	$W/(m^2 \cdot K^4)$
c_p	Capacidad calorífica específica a presión constante	$kJ/(kg \cdot K)$
D	Diámetro	m, mm
d	Espesor	m, mm
H	Altura	m
h	Coefficiente de transmisión de calor	$W/(m^2 \cdot 2K)$
l	Largo	m
m	Masa	kg
P	Perímetro	m
q	Densidad del caudal de calor	W/m^2
R	Resistencia térmica	$m^2 \cdot K/W$
T	Temperatura termodinámica	K
U	Transmitancia térmica	$W/(m^2 \cdot 2K)$
v	Velocidad del aire	m/s
z, y	Términos de corrección para puentes térmicos irregulares de aislamiento	-
z^*, y^*	Términos de corrección para puentes térmicos de instalación	-
ε	Emisividad	-
λ	Conductividad térmica	$W/(m \cdot K)$
λ_d	Conductividad térmica declarada	$W/(m \cdot K)$
ρ	Densidad	kg/m^3
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	$W/(m^2 \cdot K^4)$
F	Conversión de conductividad térmica	-
F_a	Factor de conversión de envejecimiento	-
F_c	Factor de conversión por compresión	-
F_c	Factor de conversión por convección	-
F_d	Factor de conversión de espesor	-
f_d	Coefficiente de conversión de espesor	-
F_j	Factor conjunto	-
F_m	Factor de conversión de humedad	-
$F_{\Delta\theta}$	Factor de conversión de diferencia de temperatura	-
Δ_λ	Conductividad térmica adicional debido a puentes térmicos, como espaciadores, que son partes regulares del aislamiento	$W/(m \cdot K)$

1.2. Diferencias máximas de temperatura entre la superficie y el aire ambiente para evitar la condensación (punto de rocío)

Temperatura ambiente [°C]	Humedad relativa del aire [%]													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-20	-	10.4	9.1	8.0	7.9	6.0	5.2	4.5	3.7	2.9	2.3	1.7	1.1	0.5
-15	12.3	10.8	9.6	8.3	7.3	6.4	5.4	4.6	3.8	3.1	2.5	1.8	1.2	0.6
-10	12.9	11.3	9.9	8.7	7.6	6.6	5.7	4.8	3.9	3.2	2.5	1.8	1.2	0.6
-5	13.4	11.7	10.3	9.0	7.9	6.8	5.8	5.0	4.1	3.3	2.6	1.9	1.2	0.6
0	13.9	12.2	10.7	9.3	8.1	7.1	6.0	5.1	4.2	3.5	2.7	1.9	1.3	0.7
2	14.3	12.6	11.0	9.7	8.5	7.4	6.4	5.4	4.6	3.8	3.0	2.2	1.5	0.7
4	14.7	13.0	11.4	10.1	8.9	7.7	6.7	5.8	4.9	4.0	3.1	2.3	1.5	0.7
6	15.1	13.4	11.8	10.4	9.2	8.1	7.0	6.1	5.1	4.1	3.2	2.3	1.5	0.7
8	15.6	13.8	12.2	10.8	9.6	8.4	7.3	6.2	5.1	4.2	3.2	2.3	1.5	0.8
10	16.0	14.2	12.6	11.2	10.0	8.6	7.4	6.3	5.2	4.2	3.3	2.4	1.6	0.8
12	16.5	14.6	13.0	11.6	10.1	8.8	7.5	6.3	5.3	4.3	3.3	2.4	1.6	0.8
14	16.9	15.1	13.4	11.7	10.3	8.9	7.6	6.5	5.4	4.3	3.4	2.5	1.6	0.8
16	17.4	15.5	13.6	11.9	10.4	9.0	7.8	6.6	5.4	4.4	3.5	2.5	1.7	0.8
18	17.8	15.7	13.8	12.1	10.6	9.2	7.9	6.7	5.6	4.5	3.5	2.6	1.7	0.8
20	18.1	15.9	14.0	12.3	10.7	9.3	8.0	6.8	5.6	4.6	3.6	2.6	1.7	0.8
22	18.4	16.1	14.2	12.5	10.9	9.5	8.1	6.9	5.7	4.7	3.6	2.6	1.7	0.8
24	18.6	16.4	14.4	12.6	11.1	9.6	8.2	7.0	5.8	4.7	3.7	2.7	1.8	0.8
26	18.9	16.6	14.7	12.8	11.2	9.7	8.4	7.1	5.9	4.8	3.7	2.7	1.8	0.9
28	19.2	16.9	14.9	13.0	11.4	9.9	8.5	7.2	6.0	4.9	3.8	2.8	1.8	0.9
30	19.5	17.1	15.1	13.2	11.6	10.1	8.6	7.3	6.1	5.0	3.8	2.8	1.8	0.9
35	20.2	17.7	15.7	13.7	12.0	10.4	9.0	7.6	6.3	5.1	4.0	2.9	1.9	0.9
40	20.9	18.4	16.1	14.2	12.4	10.8	9.3	7.9	6.5	5.3	4.1	3.0	2.0	1.0
45	21.6	19.0	16.7	14.7	12.8	11.2	9.6	8.1	6.8	5.5	4.3	3.1	2.1	1.0
50	22.3	19.7	17.3	15.2	13.3	11.6	9.9	8.4	7.0	5.7	4.4	3.2	2.1	1.0

1.3. Longitud equivalente para instalación "puentes térmicos" (ISO 12241)

Bridas para etapas de presión PN 25 a PN 100 ^b		Longitud equivalente para temperaturas Δt [m]			
		100 °C	250 °C	450 °C	
Sin aislamiento para tuberías	En edificios a 20 °C	DN 50 ^c	3 a 5	5 a 11	9 a 15
		DN 100	4 a 7	7 a 16	13 a 16
		DN 150	4 a 9	7 a 17	17 a 30
		DN 200	5 a 11	10 a 26	20 a 37
		DN 300	6 a 16	12 a 37	25 a 57
		DN 400	9 a 16	15 a 36	33 a 56
		DN 500	10 a 16	17 a 36	37 a 57
	Al aire libre a 0 °C	DN 50	7 a 11	9 a 16	12 a 19
		DN 100	9 a 14	13 a 23	18 a 28
		DN 150	11 a 18	14 a 29	22 a 37
		DN 200	13 a 24	18 a 38	27 a 46
		DN 300	16 a 32	21 a 54	32 a 69
		DN 400	22 a 31	28 a 53	44 a 68
		DN 500	25 a 32	31 a 52	48 a 69
Aislado	En edificios a 20 °C y en el aire libre a 0 °C	DN 50 ^c	0.7 a 1.0	0.7 a 1.0	1.0 a 1.1
		DN 100	0.7 a 1.0	0.8 a 1.2	1.1 a 1.4
		DN 150	0.8 a 1.1	0.8 a 1.3	1.3 a 1.6
		DN 200	0.8 a 1.3	0.9 a 1.4	1.3 a 1.7
		DN 300	0.8 a 1.4	1.0 a 1.6	1.4 a 1.9
		DN 400	1.0 a 1.4	1.1 a 1.6	1.6 a 1.9
		DN 500	1.0 a 1.3	1.1 a 1.6	1.6 a 1.8
Sin aislamiento para tubería	En edificios a 20 °C	DN 50	9 a 15	16 a 29	27 a 39
		DN 100	15 a 21	24 a 46	42 a 63
		DN 150	1 a 28	26 a 63	58 a 90
		DN 200	21 a 35	37 a 82	73 a 108
		DN 300	29 a 51	50 a 116	106 a 177
		DN 400	36 a 60	59 a 136	126 a 206
		DN 500	46 a 76	75 a 170	158 a 267
	En el aire libre a 0 °C solo para etapa de presión PN 25	DN 50	22 a 24	27 a 34	35 a 39
		DN 100	33 a 36	42 a 52	56 a 61
		DN 150	39 a 42	50 a 68	77 a 83
		DN 200	51 a 56	68 a 87	98 a 101
		DN 300	59 a 75	90 a 125	140 a 160
		DN 400	84 a 88	106 a 147	165 a 190
		DN 500	108 a 114	134 a 182	205 a 238

Accesorios para etapas de presión PN 25 a PN 100 ^b			Longitud equivalente para temperaturas ^a		
			Δl [m]		
			100 °C	250 °C	450 °C
Sin aislamiento para tubería	En edificios a 20 °C y en el aire libre a 0 °C	DN 50 ^c	4 a 5	5 a 6	6 a 7
		DN 100	4 a 5	5 a 7	6 a 7
		DN 150	4 a 6	5 a 8	6 a 9
		DN 200	5 a 7	5 a 9	7 a 10
		DN 300	5 a 9	6 a 12	7 a 13
		DN 400	6 a 9	7 a 12	8 a 15
		DN 500	7 a 11	8 a 15	9 a 19
Suspensión de tuberías			Valor suplementario y*		
En edificios			0.15		
Al aire libre			0.25		

a Los rangos dados cubren los efectos de la temperatura y de las etapas de presión.

Bridas y accesorios para etapas de mayor presión dan valores más altos.

b PN es la presión nominal

c DN es el diámetro nominal.

* y es el término de corrección para la transmitancia térmica lineal causada por la instalación con puntos singulares..

1.4. Velocidad del viento

Escala de Beaufort		m/s	km/h	mph
0	Calma	0 - 0.2	0 - 1	0 - 1
1	Aire ligero	0.3 - 1.5	1 - 5	1 - 3
2	Brisa muy débil	1.6 - 3.3	6 - 11	4 - 7
3	Brisa Ligera	3.4 - 5.4	12 - 19	8 - 12
4	Brisa moderada	5.5 - 7.9	20 - 29	13 - 18
5	Brisa fresca	8.0 - 10.7	30 - 39	19 - 24
6	Brisa fuerte	10.8 - 13.8	40 - 49	25 - 31
7	Viento fuerte	13.9 - 17.1	50 - 61	32 - 38
8	Viento duro	17.2 - 20.7	62 - 74	39 - 46
9	Viento muy duro	20.8 - 24.4	75 - 88	47 - 54
10	Temporal	24.5 - 28.4	89 - 102	55 - 63

1.5. Velocidad media en tuberías

Servicio	Velocidad [m/s]
Proceso líquido promedio	1.2 - 2.0
Bomba de succión, fluido sobre enfriado	0.3 - 1.5
Bomba de succión, fluido hirviendo	0.2 - 0.9
Agua para alimentación de caldera	1.2 - 2.4
Líneas de drenaje de líquidos por gravedad	0.5 - 1.2
Líquido a caldera (sin bomba)	0.6 - 2.1
Mezcla vapor-líquido fuera del calentador	4.6 - 9.1
Vapor condensado	4.6 - 24.4
Flujos separadores por gravedad	0.2 - 0.5
Calefacción urbana	1.8 - 2.1
Tubería de vapor (vapor saturado)	20 - 30
Tubería de vapor (vapor de presión media-alta)	40 - 60

Fluidos	Velocidad [m/s]
Amoniaco, líquido	1.8
Benceno	1.8
Bromo	1.2
Cloruro de calcio	1.2
Tetracloruro de carbono	1.8
Cloro, líquido seco	1.5
Cloroformo	1.8
Dibromuro de etileno	1.2
Dicloruro de etileno	1.8
Etilenglicol	1.8
Ácido clorhídrico, líquido	1.5
Cloruro de metilo, líquido	1.8
Aceites lubricantes	1.8
Percloroetileno	1.8
Propilenglicol	1.5
Solución de cloruro de sodio	1.5

1.6. Conversión de unidades de potencia

Unidad	W	kW	MW	kWh/a	GJ/a
1W = 1 J/s	1	0.001	10^{-6}	8.76	0.0315
kW	1,000	1	10^{-3}	8,760	31.54
MW	10^6	10^3	1	$8.76 \cdot 10^6$	$31.54 \cdot 10^3$
kWh/a	0.1142	$11.2 \cdot 10^{-6}$	$114.2 \cdot 10^{-9}$	1	$3.6 \cdot 10^{-3}$
GJ/a	31.7	0.0317	$31.7 \cdot 10^{-6}$	278	1
1 TCE	929	0.929	$0.929 \cdot 10^{-3}$	8,139	29.3

1 TCE = 1 t Equivalente de carbón

1.7. Conversión de unidades de energía

Unidad	kJ	MJ	GJ	TJ	PJ	kWh	MWh	GWh	TWh	PWh	TCE	TOE
kJ	1	1.00 ⁻³	1.00 ⁻⁶	1.00 ⁻⁹	1.00 ⁻¹²	2.78 ⁻⁴	2.78 ⁻⁷	2.78 ⁻¹⁰	2.78 ⁻¹³	2.78 ⁻¹⁶	3.41 ⁻⁸	2.39 ⁻⁸
MJ	1,000	1	1.00 ⁻³	1.00 ⁻⁶	1.00 ⁻⁹	2.78 ⁻¹	2.78 ⁻⁴	2.78 ⁻⁷	2.78 ⁻¹⁰	2.78 ⁻¹³	3.41 ⁻⁵	2.39 ⁻⁵
GJ	1.00 ⁶	1,000	1	0.001	1.00 ⁻⁶	2.78 ²	2.78 ⁻¹	2.78 ⁻⁴	2.78 ⁻⁷	2.78 ⁻¹⁰	3.41 ⁻²	2.39 ⁻²
TJ	1.00 ⁹	1.00 ⁶	1,000	1	0.001	2.78 ⁵	2.78 ²	2.78 ⁻¹	2.78 ⁻⁴	2.78 ⁻⁷	3.41	2.39
PJ	1.00 ¹²	1.00 ⁹	1.00 ⁶	1,000	1	2.78 ⁸	2.78 ⁵	2.78 ²	2.78 ⁻¹	2.78 ⁻⁴	3.41 ⁴	2.39 ⁴
kWh	3.60 ³	3.60	3.60 ⁻³	3.60 ⁻⁶	3.60 ⁻⁹	1	0.001	1.00 ⁻⁶	1.00 ⁻⁹	1.00 ⁻¹²	1.23 ⁻⁴	8.60 ⁻⁵
MWh	3.60 ⁶	3.60 ³	3.60	3.60 ⁻³	3.60 ⁻⁶	1,000	1	0.001	1.00 ⁻⁶	1.00 ⁻⁹	1.23 ⁻¹	8.60 ⁻²
GWh	3.60 ⁹	3.60 ⁶	3.60 ³	3.60	3.60 ⁻³	1.00 ⁶	1,000	1	1.00 ⁻³	1.00 ⁻⁶	1.23 ²	8.60
TWh	3.60 ¹²	3.60 ⁹	3.60 ⁶	3.60 ³	3.60	1.00 ⁹	1.00 ⁶	1,000	1	1.00 ⁻³	1.23 ⁵	8.60 ⁴
PWh	3.60 ⁺¹⁵	3.60 ¹²	3.60 ⁹	3.60 ⁶	3.60 ³	1.00 ¹²	1.00 ⁹	1.00 ⁶	1,000	1	1.23 ⁸	8.60 ⁷
TCE	2.93 ⁷	2.93 ⁴	2.93	2.93 ⁻²	2.93 ⁻⁵	8.13 ³	8.13E+00	8.13 ⁻³	8.13 ⁻⁶	8.13 ⁻⁹	1	0.70
TOE	4.19 ⁷	4.19 ⁴	4.19	4.19 ⁻²	4.19 ⁻⁵	1.16 ⁴	1.16	1.16 ⁻²	1.16 ⁻⁵	1.16 ⁻⁸	1.43 ⁰	1

1 TCE = 1 t Equivalente de carbón

1 TOE = 1 t Equivalente de aceite

1.8. Emisiones específicas de CO₂ de varias fuentes de energía

Fuente de energía	t CO ₂ / GWh = g CO ₂ / kWh
Carbón duro	342
Polvo de lignito	353
Lignito	410
Aceite de calefacción ligero	266
Fuel-oil pesado	281
Bencina	259
Gas natural	202
Butano	230
Propano	234
Desperdicio doméstico	162

1.9. Emisividad del sistema de revestimiento

Tipo de revestimiento	Envejecido	Nuevo
Alu-Estuco	0.03	
Aluminio (AlMg ₃ , AlMg ₂ , Mn _{0,8})	0.05	0.07
Aluminio oxidado		0.13
Alu-zinc	0.06 - 0.16	0.24 - 0.28
Chapa de acero galvanizado	0.26 - 0.30	0.32 - 0.44
Hoja de acero austenítico inoxidable	0.10 - 0.15	
Hoja plastificada	0.90	
Hoja pintada	0.90	0.90
Vidrio celular	0.90	0.90
Espuma elastomérica flexible	0.93	0.93
Revestimiento de plástico	0.90	0.90
Óxido		0.90

1.10. Tiempo promedio de trabajo en plantas industriales

Industria	Tiempo de operación anual [h/a]	Industria	Tiempo de operación anual [h/a]
Planta de lignito	7,500	Papel de proceso térmico (PH)	8,000
Planta de carbón	7,500	Industria del aceite mineral	8,000
Gas natural, gas combinado y vapor	7,500	Industria química	8,000
Turbinas de gas natural	1,000	Industria de alimentos	7,000
CHP (calor y energía combinados)	8,000	Azúcar	3,500
CHP industria de aceite mineral	8,000	Calor, hospitales	7,000
CHP industria química	8,000	Calor, sector de bienes de capital	6,000
CHP industria alimentaria	7,000	Calor, otras industrias	7,000
CHP Azúcar	3,500	Industria del aceite mineral	8,000
Hospitales	7,000	Planta de horno de coque	8,300
CHP sector de bienes de capital	6,000	Planta de sinterización	8,300
CHP otras industrias	7,500	Producción de hierro y procesamiento	8,300
CHP calefacción urbana, público	6,000	Cemento	7,500
Compresor de gas natural, transporte	4,200	Cal en la industria	7,500
Compresor de gas natural	3,100	Azúcar en la industria	2,500
Estación de suministro de calor, calefacción pública	2,500	Vidrio	8,000

1.11. Poder calorífico medio de los combustibles (VDI 4608-2)

Fuente de energía	Unidad cuantitativa (QU)	Valor calorífico inferior (MJ/QU)
Sólidos		
Antracita	kg	30.10
Coque de hulla	kg	28.70
Briquetas de hulla	kg	31.40
Lignito	kg	9.20
Briquetas de lignito	kg	19.60
Coque de lignito	kg	29.90
Carbón seco y polvoriento	kg	22.00
Leña	m ³	6,480.00
Coque de petróleo	kg	31.10
Fluidos		
Aceite crudo	m ³	33,306.00 – 42,700.00
Gasóleo	m ³	35,600.00
Aceite de calefacción, luz	m ³	36,000.00
Aceite de calefacción pesado	m ³	37,500.00
Gas licuado (GLP)	m ³	23,800.00 – 26,300.00
Gases		
Gas refinado	kg	45.90
Gas de horno de coque	m ³ (i·N)*	16.00
Gas de horno	m ³ (i·N)	4.20
Gas natural, bajo	m ³ (i·N)	31.70
Gas natural, alto	m ³ (i·N)	36.00
Gas de petróleo	m ³ (i·N)	40.30
Gas de mina	m ³ (i·N)	16.00
Gas de alcantarillado	m ³ (i·N)	16.00

* Condiciones normales ($P_n = 1.01325 \text{ bar}$, $T_n = 273.15 \text{ K}$)

1.12. Conversión de unidades para parámetros térmicos

Símbolo	Magnitud	SI-unidad	Sistema de unidades Imperial
Q	Energía térmica	J	1 BTU = 1,055.06 J
Q	Flujo de calor	W/m ²	1 BTU/(sq.ft.hr.) = 3.1546 W/m ²
λ	Conductividad Térmica	W/(m·K)	1 BTU/(ft.hr.°F) = 1.7307 W/(m·K) 1 BTU in/(sq.ft.hr.°F) = 0.1442 W/(m·K) 1 BTU/(in.hr.°F) = 20.7688 W/(m·K)
R	Resistencia térmica	m ² ·K/W	(sq.ft.hr.°F)/1 BTU = 0.1761 m ² K/W
h	Coefficiente de superficie de transferencia de calor	W/(m ² ·K)	1 BTU/(sq.ft.hr.°F) = 5.6783 W/(m ² ·K)
C_p	Capacidad calorífica específica a presión constante	kJ/(kg·K)	1 BTU/(lb.°F) = 4.1868 kJ/(kg·K)
C_r	Coefficiente de radiación	W/(m ² ·K ⁴)	1 BTU/(sq.ft.hr.°R ⁴) = 33.156 kJ/(m ² ·K ⁴)

1.13. Factor de resistencia al vapor de agua para materiales aislantes (ISO 10456)

Material	Factor de resistencia al vapor de agua μ	
	Seco	Mojado
Poliestireno gastado	60.00	60.00
Espuma de poliestireno extruido	150.00	150.00
Espuma de poliuretano rígida	60.00	60.00
Lana mineral	1.00	1.00
Espuma fenólica	50.00	50.00
Vidrio celular	∞	∞
Tablero de perlita	5.00	5.00
Corcho expandido	10.00	5.00
Tablero de lana de madera	5.00	3.00
Tablero de fibra de madera	5.00	3.00
Espuma de urea-formaldehído	2.00	2.00
Espuma de poliuretano aplicada por pulverización.	60.00	60.00
Lana mineral de relleno suelto	1.00	1.00

1.14. Espesor de la capa de aire equivalente a la difusión de vapor de agua (ISO 10456)

Producto / material	Difusión de vapor de agua espesor de aire equivalente s_d [m]
Polietileno 0.15 mm	50.00
Polietileno 0.25 mm	100.00
Película de poliéster 0.2 mm	50.00
Lámina de PVC	30.00
Lámina de aluminio 0.05 mm	1,500.00
Lamina PE (grapada) 0.15 mm	8.00
Papel bituminoso 0.1 mm	2.00
Papel de aluminio 0.4 mm	10.00
Membrana transpirable	0.20
Pintura, emulsión	0.10
Pintura, brillo	3.00
Papel pintado de vinilo	2.00

El espesor de aire equivalente a la difusión del vapor de agua de un producto es el espesor de aire inmóvil con la misma resistencia al vapor de agua que el producto. Es una expresión de resistencia a la difusión

1.15. Temperaturas medias de los países del mundo

País	Temperatura media [°C]
Afganistán	12.60
Albania	11.40
Alemania	8.50
Algeria	22.50
Andorra	7.60
Angola	21.55
Antigua y Barbuda	26.00
Arabia Saudita	24.65
Argentina	14.80
Armenia	7.15
Australia	21.65
Austria	6.35
Azerbaiyán	11.95
Bahamas	24.85
Bahrain	27.15
Francia	25.00
Barbados	26.00
Bélgica	9.55
Belice	25.30
Benin	27.55
Bielorrusia	6.15
Birmania	13.05
Bolivia	21.55
Bosnia y Herzegovina	9.85
Bosnia y Herzegovina	21.50
Brasil	24.95
Brunéi	26.85
Bulgaria	10.55
Burkina Faso	28.25
Burundi	19.80
Bután	7.40
Cabo Verde	23.30
Camboya	26.80
Camerún	24.60
Canadá	-5.35
Chad	26.55
Chile	8.45
China	6.95
Colombia	24.50
Comoras	25.55
Corea del Norte	5.70
Corea del Sur	11.50
Costa Rica	24.80
Croacia	10.90
Cuba	25.20
Cyprus	18.45
Dinamarca	7.50

País	Temperatura media [°C]
Dominica	22.35
Ecuador	21.85
Egipto	22.10
El Salvador	24.45
Emiratos Árabes Unidos	27.00
Eritrea	25.50
Eslovaquia	6.80
Eslovenia	8.90
España	13.30
Estados Federados de Micronesia	25.85
Estados Unidos	8.55
Estonia	5.10
Esuatini	21.40
Etiopía	22.20
Filipinas	25.85
Finlandia	1.70
Fiyi	24.40
Francia	10.70
Francia	25.00
Gabón	25.05
Gambia	27.50
Georgia	5.80
Ghana	27.20
Granada	26.65
Grecia	15.40
Guatemala	23.45
Guinea	25.70
Guinea Ecuatorial	24.55
Guinea-Bisáu	26.75
Guyana	26.00
Haiti	24.90
Honduras	23.50
Hungría	9.75
Islandia	1.75
India	23.65
Indonesia	25.85
Irak	21.40
Irán	17.25
Irlanda	9.30
Islas Marshall	27.40
Islas Salomón	25.65
Israel	19.20
Italia	13.45
Italia	26.35
Jamaica	24.95
Japón	11.15
Jordania	18.30

País	Temperatura media [°C]
Kazajistán	6.40
Kenya	24.75
Kirguistán	1.55
Kiribati	28.20
Kuwait	25.35
Laos	22.80
Lesoto	11.85
Letonia	5.60
Líbano	16.40
Liberia	25.30
Libia	21.80
Liechtenstein	5.65
Lituania	6.20
Luxemburgo	8.65
Madagascar	22.65
Malasia	25.40
Malawi	21.90
Maldivas	27.65
Mali	28.25
Malta	19.20
Marruecos	17.10
Mauricio	22.40
Mauritania	27.65
México	21.00
Moldavia	9.45
Mónaco	13.55
Mongolia	-0.70
Montenegro	10.55
Mozambique	23.80
Namibia	19.95
Nepal	8.10
Nicaragua	24.90
Níger	27.15
Nigeria	26.80
Noruega	1.50
Nueva Zelanda	10.55
Omán	25.60
Países Bajos	9.25
Pakistán	20.20
Pakistán	27.60
Panamá	25.40
Papúa Nueva Guinea	25.25
Paraguay	23.55
Perú	19.60
Polonia	7.85
Reino Unido	8.45
República Centroafricana	24.90
República Checa	7.55
República de Macedonia	9.80
República del Congo	24.55

País	Temperatura media [°C]
República Democrática del Congo	24.00
República Dominicana	24.55
Ruanda	17.85
Rumanía	8.80
Rusia	-5.10
Samoa	26.70
San Cristóbal y Nieves	24.50
San Cristóbal y Nieves	21.00
San Marino	11.85
San Vicente y las Granadinas	26.80
Santa Lucía	25.50
Santo Tomé y Príncipe	23.75
Senegal	27.85
Serbia	10.55
Seychelles	27.15
Sierra Leona	26.05
Singapur	26.45
Siria	17.75
Somalia	27.05
Sri Lanka	26.95
Sudáfrica	17.75
Sudán	26.90
Suecia	2.10
Suiza	5.50
Surinam	25.70
Tailandia	26.30
Tanzania	22.35
Tayikistán	2.00
Timor Oriental	25.25
Togo	27.15
Tonga	25.25
Trinidad y Tobago	25.75
Túnez	19.20
Turkmenistán	15.10
Turquía	11.10
Tuvalu	28.00
Ucrania	8.30
Uganda	22.80
Uruguay	17.55
Uzbekistán	12.05
Vanuatu	23.95
Venezuela	25.35
Vietnam	24.45
Yemen	23.85
Yibuti	28.00
Zambia	21.40



2. Soluciones Aislamiento industrial ISOVER – Fichas técnicas

ISOVER trabaja estrechamente con diseñadores, operadores y contratistas en procesos industriales para desarrollar una gama de soluciones de aislamiento industrial que cumplen con cualquier requisito técnico. La gama de productos ISOVER TECH está especialmente diseñada para ofrecer soluciones de aislamiento únicas para protección térmica, contra incendios, acústica y anticorrosiva para cualquier aplicación industrial.

No importa si en la generación de energía, industria de petróleo y gas o procesos, desde tanques criogénicos hasta calderas de alta temperatura o equipos especiales en centrales nucleares. A continuación se presentan las fichas técnicas de nuestras soluciones de aislamiento Isover especialmente diseñadas para aplicaciones industriales.

TECH Pipe Section MT 4.0	278	U Protect Pipe Section Alu2	292
TECH Pipe Section MT 4.1	279	TECH Loose HT/EX.....	294
TECH Roll 2.0 Alu2.....	280	TECH Slab 2.1 V2	295
TECH Slab 3.0	281	TECH Slab MT 2.2 V2	296
TECH Slab 2.1	282	TECH Slab 3.0 G1	297
TECH Slab MT 3.1.....	283	U TECH Wired Mat 4.0.....	298
TECH Slab MT 5.1.....	284	U TECH Roll MT 4.0 V1	299
TECH Slab HT 6.1	285	CRYOLENE 681 AA & VV	300
TECH Wired Mat MT 3.1	286	CRYOLENE 682 AA & VV	302
TECH Wired Mat MT 4.2.....	287	CRYOLENE 684 AA & VV	304
TECH Wired Mat MT 5.1.....	288	TECH TELISOL 5.0 QN.....	306
TECH Wired Mat MT 5.1 ALU1	289		
TECH Wired Mat MT 6.1.....	290		
U TECH Pipe Section MT 4.0	291		



TECH Pipe Section MT 4.0

Aislamiento Industrial para Tuberías

Elementos moldeados de Lana de Vidrio con forma cilíndrica y estructura concéntrica. Llevan practicada una apertura en su generatriz para permitir su apertura y de esta forma su colocación sobre la tubería. Coquillas de bajo peso y gran longitud que facilitan la manipulación y mejoran el rendimiento. Producto para uso en aplicaciones técnicas, especialmente para Aislamiento Térmico en: • Tuberías de calefacción. • Tuberías Industriales hasta 400° C de Temperatura.

Dimensiones

Diámetro interior de la coquilla		Espesor (mm)	Longitud (m)
Pulgadas	mm		
1/2 ⁽¹⁾	21	30 y 40	1,2
3/4 ⁽¹⁾	27		
1 ⁽¹⁾	34	30, 40 y 50	
1 1/4 ⁽¹⁾	42		
1 1/2 ⁽¹⁾	48		
2 ⁽¹⁾	60		
2 1/2 ⁽¹⁾	76	30, 40, 50 y 60	
3 ⁽¹⁾	89		
4 ⁽¹⁾	114		
5 ⁽¹⁾	140		
6 ⁽²⁾	169		
8 ⁽²⁾	219		

Código de designación ^{CE}

⁽¹⁾ MW-EN 14303-T8-ST(+)-400-WS1.

⁽²⁾ MW-EN 14303-T9-ST(+)-400-WS1.

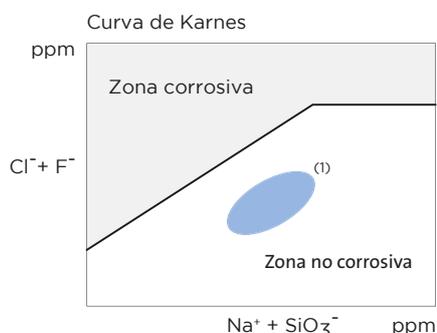
Presentación

250 bultos/camión.

Clase Logística: B.

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $F^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

⁽¹⁾ Posición de las Lanasy Minerales ISOVER.

Propiedades técnicas ^{CE}

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma			
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609			
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303			
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1			
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604			
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	-30 a 400	EN 14706			
Conductividad térmica								
λ	Temp.* (°C)	-20	50	100	150	200	250	300
	λ (W/m·K)	0,029	0,037	0,045	0,053	0,065	0,080	0,095
—	Características de durabilidad							
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.								

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN ISO 8497.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Pipe Section MT 4.1

Aislamiento Industrial para Tuberías

Elementos moldeados de Lana de Roca con forma cilíndrica y estructura concéntrica. Llevan practicada una abertura en su generatriz para permitir su colocación sobre la tubería. Coquillas de gran longitud que facilitan una rápida y eficiente instalación. Producto para uso en Aplicaciones Técnicas, especialmente para Aislamiento Térmico y Calorifugado para Tuberías e Instalaciones Industriales de hasta 640°C.

Dimensiones

Diámetro interior de la coquilla		Espesor de la coquilla (mm)	
Pulgadas	mm	Longitud 1,15 m	Longitud 1,20 m
1/2 ⁽¹⁾	21	30, 40	-
3/4 ⁽¹⁾	27	30, 40 y 50	-
1 ⁽¹⁾	34	30, 40, 50 y 60	-
1 1/4 ⁽¹⁾	42	30 y 40	-
1 1/2 ⁽¹⁾	48	30, 40 y 50	60
2 ⁽¹⁾	60	30 y 40	50, 60 y 80
2 1/2 ⁽¹⁾	76	30	40, 50, 60 y 80
3 ⁽¹⁾	89	-	30,40, 50, 60 y 80
4 ⁽¹⁾	114		50 y 60
5 ⁽¹⁾	140	-	30, 40, 50, 60 y 80
6 ⁽²⁾	169		40, 50, 60 y 80
8 ⁽²⁾	219	-	40, 50, 60 y 80
10 ⁽²⁾	273		

Código de designación

⁽¹⁾ MW-EN 14303-T8-ST(+)+640-WS1.

⁽²⁾ MW-EN 14303-T9-ST(+)+640-WS1.

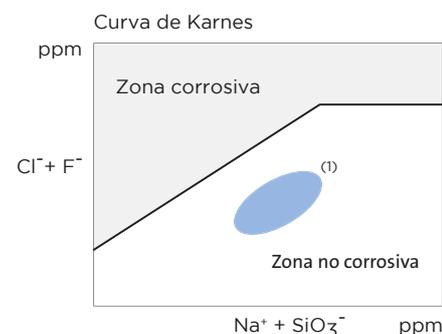
Presentación

250 bultos/camión.

Clase Logística: B.

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Cl^- + F^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

⁽¹⁾ Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma		
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609		
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		-	1	EN 14303		
-	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1		
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604		
ST(+)	Temperatura límite de empleo	-	°C	640	EN 14706		
λ	Conductividad térmica						
	Temp.* (°C)	50	100	150	200	250	300
	λ (W/m·K)	0,038	0,045	0,054	0,063	0,073	0,084
-	Características de durabilidad						
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN ISO 8497.

Información complementaria

• Certificación ASTM

Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para más información.



Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Roll 2.0 Alu2

Aislamiento Térmico y Acústico para Equipamientos Industriales

Manta de lana de vidrio ISOVER, revestida por una de sus caras con una lámina de aluminio reforzado con malla de vidrio, que actúa como soporte y como barrera de vapor. Aislamiento Térmico y Acústico para tanques, depósitos, cisternas y salas de máquinas. • Aislamiento resistente a vibraciones.*

* Resistencia a las vibraciones. El producto ha sido sometido a vibraciones verticales de 900 ciclos/minuto y con una de amplitud 6,3 mm. Después de dos horas se han obtenido los siguientes resultados: • Desprendimiento Nulo. • Cedimiento 0 mm.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303
MV	Espesor de aire equivalente a la difusión del vapor de agua, Sd		m	100	EN 12086
—	Reacción al fuego		Euroclases	A2-s1, d0	EN 13501-1
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	-30 a 200	EN 14706
λ	Conductividad térmica				
	Temp.* (°C)	-20	50	100	150
	λ (W/m·K)	0,030	0,042	0,053	0,067
—	Características de durabilidad				
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.					

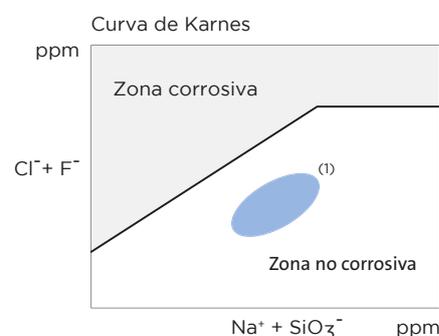
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	13,50	0,60	16,20	324,00	5.832
50	11,00		13,20	264,00	4.752
60	9,20		11,04	220,80	3.974

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Cl^- + F^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Código de designación

MW-EN 14303-T2-WS1-MV1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab 3.0

Aislamiento Térmico y Acústico para Equipamientos Industriales

Panel compacto semirrígido de Lana de Vidrio. Aislamiento ligero y de gran flexibilidad indicado para: • Aislamiento térmico y absorción acústica en: calorifugado industrial, cámaras frigoríficas, cisternas, salas de máquinas, transporte de fluidos. • Aislamiento resistente a vibraciones.*

* Resistencia a las vibraciones. El producto ha sido sometido a vibraciones verticales de 900 ciclos/minuto y con una de amplitud 6,3 mm. Después de dos horas se han obtenido los siguientes resultados: Desprendimiento Nulo. - Cedimiento 0 mm.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma			
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609			
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303			
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1			
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604			
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	-30 a 300	EN 14706			
Conductividad térmica								
λ	Temp.* (°C)	-20	10	50	100	150	200	250
	λ (W/m·K)	0,030	0,034	0,038	0,047	0,058	0,070	0,085
—	Características de durabilidad							
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.								

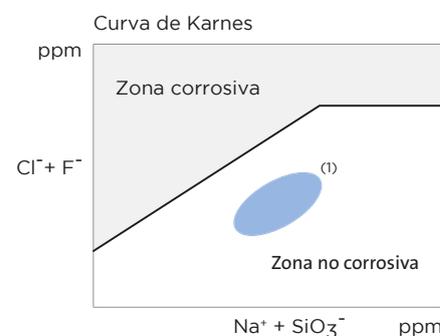
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	1,35	0,60	9,72	155,32	2.799
50			8,10	129,60	2.333

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Absorción acústica

Coeficiente de absorción α Sabine							
Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	
Espesor (mm)	40	0,15	0,50	0,75	0,85	0,85	0,90
	50	0,20	0,55	0,80	0,85	0,85	0,90

Código de designación

MW-EN 14303-T4-ST(+)-300-WS1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab 2.1

Aislamiento Térmico y Acústico para Equipamientos Industriales

Panel semirrígido de Lana de Roca Aislamiento térmico y Acústico para: • Tanques y Depósitos • Cisternas • Hornos • Salas de Máquinas.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	300	EN 14706
Conductividad térmica					
λ	Temp.* (°C)	50	100	200	300
	λ (W/m·K)	0,043	0,053	0,082	0,124
—	Características de durabilidad				
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.					

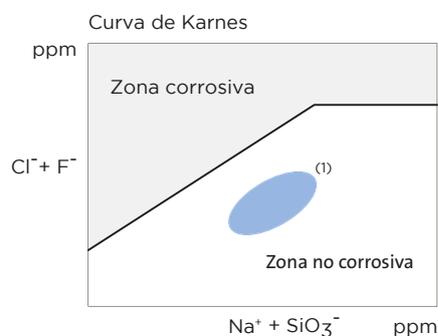
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	1,00	0,60	9,00	72,00	1.872
50			7,20	57,60	1.498
60			6,00	48,00	1.248
80			4,80	38,40	998
100			3,60	28,80	749

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones FI⁻ + Cl⁻ respecto a los Na⁺ + SiO₃⁻ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Código de designación

MW-EN 14303-T4-ST(+)-300WS1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab MT 3.1

Aislamiento Térmico y Acústico para Equipamientos Industriales

Panel semirrígido de Lana de Roca. Aislamiento térmico y absorción acústica en equipos industriales tales como:

- Calderas. • Hornos. • Transporte y almacenamiento de fluidos.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma			
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609			
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303			
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1			
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604			
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	600	EN 14706			
Conductividad térmica								
λ	Temp.* (°C)	50	100	200	300	400	500	600
	λ (W/m·K)	0,041	0,048	0,068	0,097	0,134	0,183	0,248
—	Características de durabilidad							
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.								

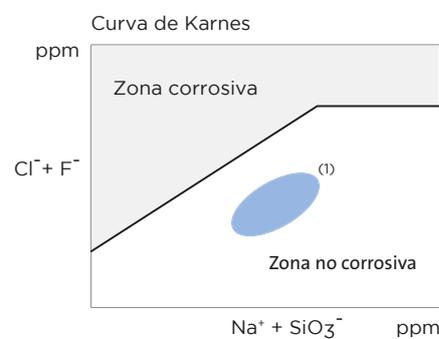
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	1,00	0,60	9,00	72,00	1.872
50			7,20	57,60	1.498
60			6,00	48,00	1.248
100			3,60	28,80	749

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Cl^- + F^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

Código de designación

MW-EN- 14303-T4-ST(+)-600-WS1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab MT 5.1

Aislamiento Térmico, Acústico y Calorifugado para altas Temperaturas

Panel rígido de Lana de Roca. Aislamiento térmico, acústico y calorifugado en aplicaciones de alta temperatura:

- Grandes depósitos. • Hornos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma			
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609			
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303			
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1			
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604			
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	660	EN 14706			
Conductividad térmica								
λ	Temp.* (°C)	50	100	200	300	400	500	600
	λ (W/m·K)	0,041	0,047	0,063	0,084	0,110	0,143	0,182
—	Características de durabilidad					El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.		

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
30	1,00	0,60	12,00	96,00	2.496
40			8,40	67,20	1.747
50			7,20	57,60	1.497
60			6,00	48,00	1.248
80			4,80	33,60	873
100			3,60	28,80	748

También puede fabricarse en 1200 x 600 mm, previa consulta.

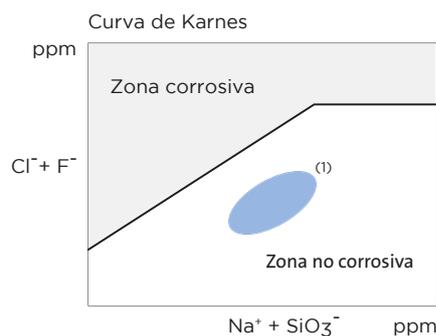
Información complementaria

- Certificación ASTM
- Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para más información.



Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Código de designación

MW-EN- 14303-T4-ST(+)+660-WS1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab HT 6.1

Aislamiento Térmico, Acústico y Calorifugado para altas Temperaturas

Panel rígido de Lana de Roca. Aislamiento térmico, acústico y calorifugado en aplicaciones de alta temperatura:

- Grandes depósitos. • Calderas de calefacción e industriales. • Hornos industriales. • Mamparas divisorias.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma					
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609					
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303					
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1					
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604					
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	700	EN 14706					
Conductividad térmica										
λ	Temp.* (°C)	50	100	200	300	400	500	600	650	
	λ (W/m·K)	0,039	0,044	0,058	0,076	0,098	0,123	0,154	0,172	
—	Características de durabilidad					El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.				

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
30	1,00	0,60	8,40	92,40	2.402
40			4,80	67,20	1.747
50			4,80	57,60	1.497

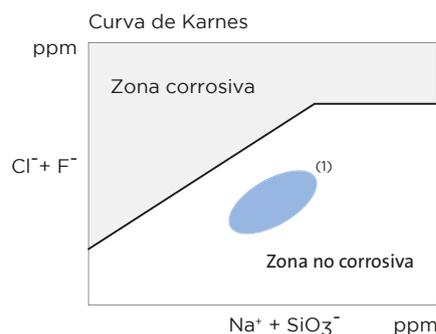
Información complementaria

- Certificación ASTM
- Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para más información.



Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Código de designación

MW-EN 14303-T4-ST(+)-700-WS1-cs(10)20.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Wired Mat MT 3.1

Manta armada de Lana de Roca

Manta armada de Lana de Roca que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. Aislamiento térmico y acústico para la industria. Calorifugado de tuberías de gran diámetro, tanques, hornos, chimeneas, calderas y otros equipos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma				
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609				
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303				
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1				
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604				
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	560	EN 14706				
λ	Conductividad térmica								
	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400	500	550
	λ (W/m·K)	0,040	0,047	0,057	0,067	0,094	0,130	0,173	0,200
—	Características de durabilidad								
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.									

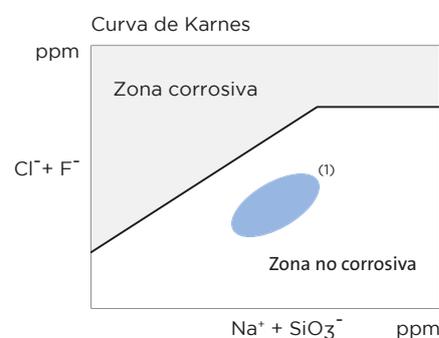
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	6,00	1,00	6,00	90,00	2.340
50	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
60	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
70	4,00	1,00	4,00	60,00	1.560
80	3,50	1,00	3,50	52,50	1.365
100	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones FI⁻ + Cl⁻ respecto a los Na⁺ + SiO₃⁻ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

Código de designación

MW EN 14303-T2-ST(+)-560-WS1. Según Norma EN 14303.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Wired Mat MT 4.2

Manta armada de Lana de Roca

Manta armada de Lana de Roca que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. Aislamiento térmico y acústico para la industria. Calorifugado de tuberías de gran diámetro, tanques, hornos, chimeneas, calderas y otros equipos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma			
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609			
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303			
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1			
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604			
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	600	EN 14706			
λ	Conductividad térmica							
	Temp.* (°C)	50	100	200	300	400	500	600
—	λ (W/m·K)	0,041	0,047	0,065	0,090	0,124	0,167	0,217
—	Características de durabilidad							
—	El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	6,00	1,00	6,00	90,00	2.340
50	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
60	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
70	4,50	1,00	4,50	67,50	1.755
80	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
100	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
120	2,50	1,00	2,50	37,50	975

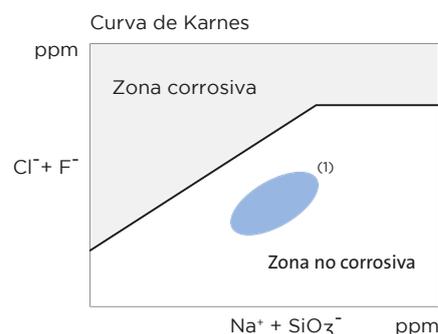
Información complementaria

• Certificación ASTM
Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para mas información.



Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Código de designación

MW-EN 14303-T2-ST(+)-600-WS1. Según norma EN 14303

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Wired Mat MT 5.1

Manta armada de Lana de Roca

Manta armada de Lana de Roca que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. Aislamiento térmico y acústico para la industria. Calorifugado de tuberías de gran diámetro, tanques, hornos, chimeneas, calderas y otros equipos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma					
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609					
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303					
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1					
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604					
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	660	EN 14706					
Conductividad térmica										
λ	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400	500	600	650
	λ (W/m·K)	0,039	0,045	0,052	0,061	0,081	0,106	0,137	0,175	0,195
—	Características de durabilidad					El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.				

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	6,00	1,00	6,00	90,00	2.340
50	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
60	4,00	1,00	4,00	75,00	1.560
70	4,00	1,00	4,00	67,50	1.560
80	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
100	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
120	2,50	1,00	2,50	37,50	975

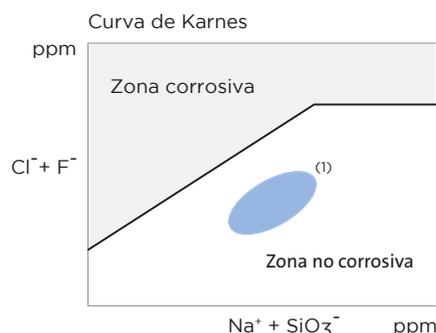
Información complementaria

• Certificación ASTM
Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para mas información.



Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

Código de designación

MW-EN 14303-T2-ST(+)-660-WS1. Según norma EN 14303.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Wired Mat MT 5.1 Alu1

Manta armada de lana de roca con revestimiento de aluminio

Manta armada de Lana de Roca que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado y una lámina de aluminio entre la lana y la malla. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. La lámina de aluminio entre la lana y la malla hace que esté especialmente diseñada para: • Equipos e instalaciones de interior, dado que la lámina de aluminio podría sustituir al cladding (con condiciones de contorno estables y si no hay ningún requerimiento mecánico) • Centrales eléctricas de carbón, como protección contra el polvo.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma					
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609					
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303					
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1					
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604					
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	660	EN 14706					
λ	Conductividad térmica									
	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400	500	600	650
—	λ (W/mK)	0,039	0,045	0,052	0,061	0,081	0,106	0,137	0,175	0,195
—	Características de durabilidad									
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.										

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

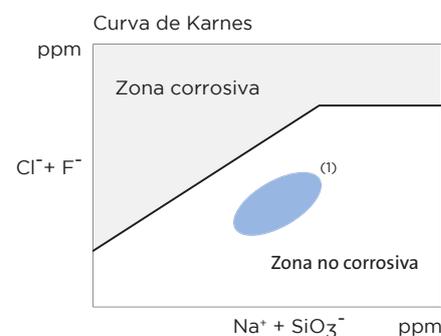
Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	6,00	1,00	6,00	90,00	2.340
50	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
60	4,00	1,00	4,00	60,00	1.560
70	4,00	1,00	4,00	60,00	1.560
80	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
100	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170
120	2,50	1,00	2,50	37,50	975

Código de designación

MW EN 14303-T2-ST(+)-660-WS1. Según Norma EN 14303.

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Wired Mat MT 6.1

Manta armada de Lana de Roca

Manta armada de Lana de Roca que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. Aislamiento térmico y acústico para la industria. Calorifugado de tuberías de gran diámetro, tanques, hornos, chimeneas, calderas y otros equipos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma					
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609					
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303					
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1					
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604					
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	680	EN 14706					
Conductividad térmica										
λ	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400	500	600	650
	λ (W/m-K)	0,040	0,045	0,051	0,058	0,076	0,098	0,124	0,156	0,174
—	Características de durabilidad		El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	5,00	1,00	5,00	75,00	1.950
50	4,00	1,00	4,00	60,00	1.560
60	3,50	1,00	3,50	52,50	1.365
70	3,00	1,00	3,00	45,00	1.170

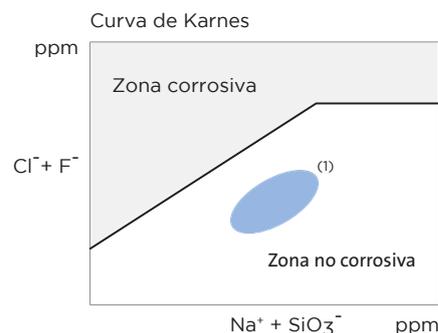
Información complementaria

• Certificación ASTM.
Certificado de conformidad con las normas ASTM emitido por BUREAU VERITAS. Consultar para mas información.



Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

Código de designación

MW EN 14303-T2-ST(+)-680-WS1. Según Norma EN 14303.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



U TECH Pipe Section MT 4.0

Aislamiento Industrial para Tuberías

Elementos moldeados de lana mineral ULTIMATE con forma cilíndrica y estructura concéntrica. Llevan practicada una apertura en su generatriz para permitir su apertura y de esta forma su colocación sobre la tubería. Coquillas de bajo peso, gran longitud y altas prestaciones que facilitan la manipulación y mejoran el rendimiento. Producto para uso en Aplicaciones Técnicas, especialmente para Aislamiento Térmico y Calorífugado para Tuberías e Instalaciones Industriales hasta 660° C de Temperatura.

Dimensiones

Diámetro interior de la coquilla		Espesor de la coquilla (mm)		Longitud 1,20 m
Pulgadas	mm	Longitud 1,15 m	Longitud 1,20 m	
1/2 ⁽¹⁾	22	30, 40	1,2	
3/4 ⁽¹⁾	28	30, 40 y 50		
1 ⁽¹⁾	35			
1 1/2 ⁽¹⁾	48			
2 ⁽¹⁾	60	30, 40, 50 y 60		
3 ⁽¹⁾	89			
4 ⁽¹⁾	114	40,50 y 60		
6 ⁽²⁾	169			50

Código de designación

⁽¹⁾ MW-EN 14303-T8-ST(+)-660-WS1-CL10.

⁽²⁾ MW-EN 14303-T9-ST(+)-660-WS1-CL10.

Presentación

250 bultos/camión.

Clase Logística: B.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es

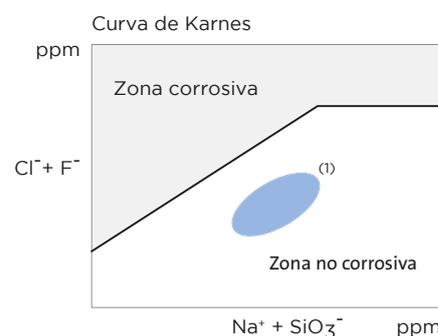
Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma		
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609		
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303		
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1		
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604		
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	660	EN 14706		
λ	Conductividad térmica						
	Temp.* (°C)	50	100	150	200	250	300
	λ (W/m-K)	0,037	0,043	0,052	0,062	0,074	0,089
—	Características de durabilidad						
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN ISO 8497.

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

⁽¹⁾ Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

U Protect Alu-Faced pipe sections for HVAC, Marine or Industry applications



U Protect pipe solutions provides an easy to install and lightweight efficient solution for thermal and acoustic insulation and fire resistance in HVAC pipe systems, using ULTIMATE mineral wool. ISOVER U Protect pipes provides topclass thermal insulation for hot water and heating pipes and secures the building fire safety for penetrations up to EI 120 according to EN 1366-3. Alufacing provides efficient water vapour barrier when intact and seems carefully taped.

U Protect pipe sections are manufactured from inorganic chemical-ly biosoluble materials and do not include anything that would have effect on corrosion and shall not facilitate microbial growth.



THERMAL INSULATION

High class insulation keeps the medium temperature as designed and secures system operating with minimal losses



FIRE RESISTANCE

Passive fire protection system



SOUND INSULATION

The ability of mineral wool to act as a spring results in reducing vibration and noise emissions in industrial processes



FAST INSTALLATION

Thanks to its light weight and high flexibility, it can be installed by one person without any special equipment



CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Thermal conductivity	T	[°C]	10	50	100	150	200	300	EN 12667
	λ	[W/(m·K)]	0.032	0.037	0.043	0.052	0.062	0.092	
Thermal behaviour	T	[°C]	< 620 °C (tape and alu-facing 80 °C)						EN 14706
Melting point	-		> 1,000 °C						-

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Reaction to fire	-	-	Non-combustible, Euroclass A2L-s1,d0						EN 13501-1
Chemical behaviour	-	-	Silicone-free, Sulphide-free						AGI Q 132
Application field	-	-	ISOVER U Protect pipes provides topclass thermal insulation for hot water and heating pipes and secures the building fire safety for penetrations up to EI 120 according to EN 1366-3 Alufacing provides efficient water vapour barrier when intact and seems carefully taped						EN 1366-3
Water behaviour	-	-	Hydrophobic						EN 12086
CE marking	-	-	MW-EN14303-T8-ST(+)-620-MV2-CL10 MW-EN14303-T9-ST(+)-620-MV2-CL10						EN 14303
Quality management	-	-	ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001						EN ISO 9001 EN ISO 14001

DELIVERY FORM: STANDARD DIMENSIONS / PACKAGING INFORMATION*																								
Thickness d [mm]	Length [mm]	Diameter Ø [mm]																						
		15	18	22	28	35	42	48	54	57	60	64	70	76	89	102	108	114	133	140	159	168	219	273
20	1,200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	1,200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
30	1,200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
40	1,200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
50	1,200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
60	1,200				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
70	1,200					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
80	1,200						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
100	1,200							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120	1,200								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Pipe Sections are alu-faced, slit open from one side and equipped with tape closure - further information on demand.
* Check availability and delivery details from your local ISOVER supplier.



www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our Isover sales offices. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

SAINT-GOBAIN ISOVER · "Les Miroirs" · 18, avenue d'Alsace · 92400 Courbevoie · France





TECH Loose Wool HT/EX

Aislamiento Térmico, Acústico y Calorifugado

TECH Loose Wool HT: Lana de Roca a granel, impregnada ligeramente en aceite mineral para facilitar su manipulación.

TECH Loose Wool EX: Lana de Roca a granel totalmente exenta de materias orgánicas y aceites minerales.

TECH Loose Wool HT: Aislamiento Térmico para Altas Temperaturas en Equipos Industriales, hornos, válvulas, silenciadores de escape y calderas de calefacción. **TECH Loose Wool EX:** Aislamiento Térmico para Instalaciones de Criogenia y Áreas de Riesgo que requieran productos totalmente exentos de materias orgánicas y aceites minerales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma					
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609					
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303					
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1					
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604					
ST(+)	Temperatura límite de empleo TECH Loose Wool HT	—	°C	700	EN 14706					
ST(+)	Temperatura límite de empleo TECH Loose Wool EX	—	°C	-200 a 700	EN 14706					
λ	Conductividad térmica									
	Temp. ⁽¹⁾ (°C)	-30	0	50	100	150	200	300	400	500
	λ ⁽²⁾ (W/m·K)	0,032	0,035	0,041	0,048	0,056	0,065	0,088	0,119	0,160
—	Características de durabilidad									
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.										

⁽¹⁾ Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

⁽²⁾ Para una densidad de recatado de 100 kg/m³.

Densidad de recatado

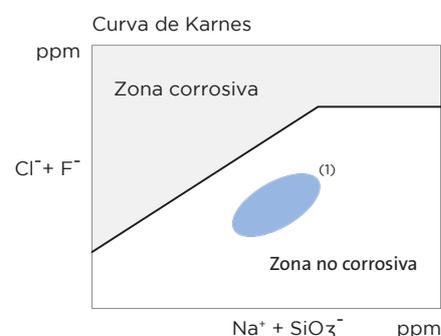
Espesor de calorifugado (mm)	50	75	100	150
Cantidad de sacos necesarios para aislar				
Densidad de recatado: 100	—	1/3	—	2/3
Densidad de recatado: 150	1/3	—	3/4	—

Presentación

Sacos de polietileno	Kg/saco	Kg/palet	Kg/camión
—	20,00	400	10.400

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

⁽¹⁾ Posición de las Lanás Minerales ISOVER.

Absorción acústica

Coeficiente de absorción α Sabine							
Frecuencia		125	250	500	1000	2000	4000
Espesor (mm)	70	0,42	0,82	0,93	0,91	0,99	0,98
	100	0,80	0,80	0,95	0,95	0,95	0,95

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab 2.1 V2

Absorción acústica en Maquinaria Industrial y Equipos

Panel semirrígido de lana de roca que incorpora un velo negro por una de sus caras. Buena absorción acústica y manipulación mecánica. Aislamiento Térmico y Absorción Acústica en: • Techos metálicos perforados y ciegos • Pantallas, Cabinas y Salas de Máquinas • Silenciadores, baffles, colisas...

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma	
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609	
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303	
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1	
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604	
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	300	EN 14706	
λ	Conductividad térmica					
	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300
	λ (W/m·K)	0,043	0,053	0,066	0,082	0,124
—	Características de durabilidad					
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.						

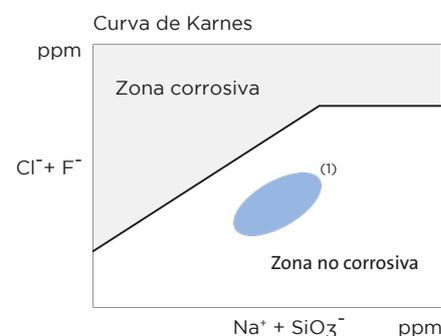
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	1,20	0,60	11,52	92,16	2.028
50			8,64	69,12	1.521

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Absorción acústica

Coeficiente de absorción α Sabine*							
Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	
Espesor (mm)	40	0,15	0,50	0,75	0,85	0,85	0,90
	50	0,20	0,55	0,80	0,85	0,85	0,90
	50*	0,35	0,80	0,85	0,95	1,00	1,00

*con cámara o plenum 250 mm.

Código de designación

TECH Slab 2.1 V2: espesor 40mm:
MW-EN 14303-T4-ST(+)-300-WS1-AW0,6

TECH Slab 2.1 V2: espesor 50mm:
MW-EN 14303-T4-ST(+)-300-WS1-AW0,7

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab MT 2.2 V2

Absorción acústica en Maquinaria Industrial y Equipos

Panel semirrígido de Lana de Roca que incorpora un velo negro por una de sus caras. Buena absorción acústica y manipulación mecánica. Aislamiento Térmico y Absorción Acústica en: • Techos metálicos perforados y ciegos • Pantallas, Cabinas y Salas de Máquinas • Silenciadores, baffles, colisas...

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma		
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609		
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303		
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1		
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604		
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	560	EN 14706		
Conductividad térmica							
λ	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400
	λ (W/m·K)	0,043	0,051	0,063	0,076	0,113	0,164
—	Características de durabilidad						
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

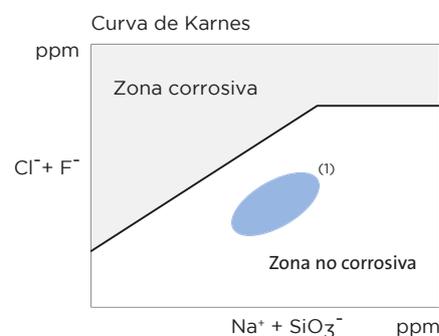
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
30	1,20	0,60	14,40	115,20	2.534
40			11,52	92,16	2.028
50			8,64	69,12	1.521

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Fl^- + Cl^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Absorción acústica

Coeficiente de absorción α Sabine							
Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	
Espesor (mm)	30	0,15	0,35	0,65	0,80	0,80	0,85
	50	0,15	0,50	0,75	0,85	0,85	0,90
	50	0,20	0,55	0,80	0,85	0,85	0,90

Código de designación

TECH Slab MT 2.2 V2: espesor 30mm: MW-EN 14303-T4-ST(+)-560-WS1-AW0,3.

TECH Slab MT 2.2 V2: espesor 40mm: MW-EN 14303-T4-ST(+)-560-WS1-AW0,6.

TECH Slab MT 2.2 V2: espesor 50mm: MW-EN 14303-T4-ST(+)-560-WS1-AW0,7.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



TECH Slab 3.0 G1 (PANEL NETO)

Absorción acústica en Maquinaria Industrial y Equipos

Panel compacto semirrígido de Lana de Vidrio que incorpora en una de sus caras un tejido de fibra de vidrio negro de gran resistencia a la abrasión y punzonamiento. Excelente Absorción Acústica y Manipulación Mecánica en: • Apantallado de Motores • Compresores • Sala de Máquinas • Silenciadores Industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma	
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609	
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303	
—	Reacción al fuego		Euroclases	A2-s1, d0	EN 13501-1	
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604	
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	-30 a +290	EN 14706	
Conductividad térmica						
λ	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300
	λ (W/m·K)	0,038	0,047	0,058	0,070	0,102
—	Características de durabilidad					
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.						

*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

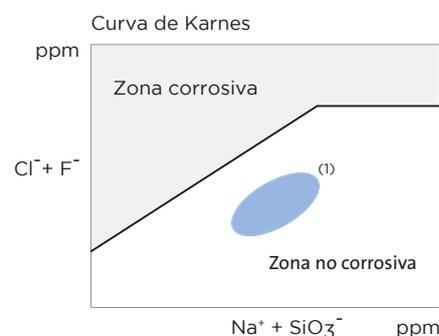
Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
30	1,35 ⁽¹⁾	0,60 ⁽¹⁾	11,34	181,44	3.266
40			8,10	129,60	2.333
50			6,48	103,68	1.866

⁽¹⁾ Otras dimensiones bajo consulta y pedido.

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Absorción acústica

Coeficiente de absorción α Sabine*							
Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000	
Espesor (mm)	30	0,15	0,35	0,65	0,80	0,80	0,85
	40	0,15	0,50	0,75	0,85	0,85	0,90
	50	0,20	0,55	0,80	0,85	0,85	0,90

Código de designación

MW-EN 14303-T4-ST(+)-300-WS1.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



U TECH Wired Mat MT 4.0

Manta armada de lana mineral ULTIMATE

Manta armada de lana mineral ULTIMATE que incorpora por una de sus caras una malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero galvanizado. Disponible bajo petición malla e hilo de acero inoxidable. Aislamiento térmico y acústico para la industria. Calorifugado de tuberías de gran diámetro, tanques, hornos, chimeneas, calderas y otros equipos industriales. Especialmente indicada para accesos difíciles, instalaciones en altura y/o estructuras ligeras.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma		
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609		
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303		
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1		
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604		
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	560	EN 14706		
Conductividad térmica							
λ	Temp.* (°C)	50	100	200	300	400	500
	λ (W/m·K)	0,035	0,042	0,063	0,087	0,122	0,163
—	Características de durabilidad						
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

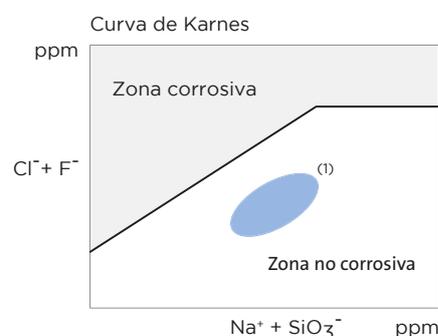
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
40	9,50	0,60	11,40	205,20	4.514
50	7,50		9,00	162,00	3.564
60	6,30		7,56	136,08	2.994
80	4,70		5,64	101,52	2.233
100	4,00		4,80	86,40	1.901
120	3,30		3,96	71,28	1.568

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Nota: los análisis químicos de iones realizados según las normas ASTM C-795 y C-871 demuestran que los productos de Lana de Roca ISOVER no provocan la corrosión en el acero ya que la relación de iones $Cl^- + F^-$ respecto a los $Na^+ + SiO_3^-$ se sitúa en la parte inferior de la Curva de Karnes.

(1) Posición de las Lanas Minerales ISOVER.

Código de designación

MW EN 14303-T2-ST(+)/250)560-WS1-CL10. Según Norma EN 14303.

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es



U TECH Roll MT 4.0 V1

Aislamiento Térmico, Acústico y Calorifugado para medias Temperaturas

Manta flexible de lana mineral ULTIMATE que incorpora un velo reforzado en una de sus caras. Aislamiento térmico, acústico y calorifugado en aplicaciones de media temperatura: Tanques. • Grandes depósitos. • Hornos y equipos industriales.

Propiedades técnicas

Símbolo	Parámetro	Icono	Unidades	Valor	Norma		
WS	Absorción de agua a corto plazo		kg/m ²	< 1	EN 1609		
MU	Resistencia a la difusión de vapor de agua μ		—	1	EN 14303		
—	Reacción al fuego		Euroclases	A1	EN 13501-1		
DS	Estabilidad dimensional		%	< 1	EN 1604		
ST(+)	Temperatura límite de empleo	—	°C	460	EN 14706		
Conductividad térmica							
λ	Temp.* (°C)	50	100	150	200	300	400
	λ (W/m·K)	0,035	0,042	0,051	0,060	0,086	0,122
—	Características de durabilidad						
El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.							

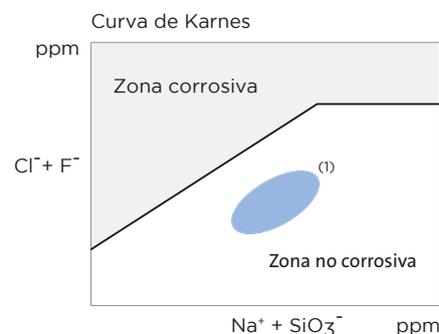
*Temperatura Media en el Aislamiento. Según Norma EN 12667.

Presentación

Espesor d (mm)	Largo l (m)	Ancho b (m)	m ² /bulto	m ² /palé	m ² /camión
30	8,40	0,60	10,08	181,44	3.992
40	6,80		7,56	136,08	2.994
50	5,00		6,00	108,00	2.376
60	4,20		5,04	90,72	1.996
80	3,20		3,84	69,12	1.521
100	2,50		3,00	54,00	1.188

Corrosión de acero

No corrosivo. Según ASTM C-795 y C-871.



Código de designación

MW-EN 14303-T2-ST(+/250)460-MV1

Certificados



Guía de instalación

Información adicional disponible en: www.isover.es

Resilient glass mineral wool blankets engineered for cryogenic tank decks



Design specifications for storage tanks containing cryogenic fluids such as liquefied natural gas (LNG), ethylene or nitrogen for chemical or combustion processes, are not only highly demanding in terms of construction, but also in terms of insulation. With the tank volume expanding and contracting depending on the level of liquid inside, the insulation must offer high levels of both compressibility and resilience. To meet this requirement, ISOVER has developed the unique CRYOLENE product range.

CRYOLENE 681 has been designed for the insulation of cryogenic tank suspended decks.

The properties and performance of CRYOLENE 681 have been extensively tested by external institutes and the products are well-proven through decades of successful use worldwide in chemical and LNG applications.



LIGHTWEIGHT

Lightweight solution with up to 50% weight savings compared to standard insulation solutions



FAST INSTALLATION

Flexibility, lightweight and long-length rolls helps to handle and install CRYOLENE 681 easier and faster



THERMAL INSULATION

Excellent thermal insulation performance at cryogenic temperatures



FIRE REACTION

Non-combustible, Euroclass A1 for effective fire protection on industry sites



IMPROVED LOGISTICS

Transport and storage savings with up to 80% more material per pallet than standard solutions



CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Thermal conductivity	T	[°C]	-150	-120	-100	-50	0	100	EN 12667 ISO 13787
	λ	[W/(m·K)]	0.015	0.019	0.021	0.028	0.037	0.039	
Thermal behaviour	T	[°C]	Operating temperature range -170 °C until + 120 °C						-

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Specific thermal capacity	c	kJ/(kg.K)	1.03						ISO 10456
Reaction to fire	-	-	681 VV: Non combustible; Euroclass A1 681 AA: Euroclass A2-s1, d0 681 VV: Fire Spread Index = 0; Smoke Development Index < 20 681 AA: Fire Spread Index < 25; Smoke Development Index < 25						EN 13501-1 ASTM E84
Tensile strength	-	-	681 VV: reinforced glass veil 681 AA: reinforced aluminium foil The facing contributes to provide the CRYOLENE blanket its tensile strength						-
Chemical behaviour	-	-	Do not contribute to corrosion of stainless steel No short term water absorption by partial immersion (WS1)						ASTM C795 EN 1609
Application field	-	-	Product for use in cryogenic applications, such as Liquid Natural Gas storage tanks Shall be enclosed in vapor and water tight construction Non compatible with liquid oxygen						EN 14303
Material	-	-	CRYOLENE products are highly resilient glass mineral wool rolls designed to retain their fibers elasticity over time at temperatures ranging from -170 °C to +120 °C With quality marks EUCEB and RAL by the Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., unriskey regarding health according to German decree on dangerous substances, decree on prohibition of chemicals and to regulation EC No 1272/2008 Note Q						CINI 2.1.02
Facing	-	-	681 VV: faced with a yellow glass veil 681 AA: faced on one side with reinforced aluminium						-
Miscellaneous	-	-	Storage: Rolls must be stocked vertically. For best resilient characteristics, all CRYOLENE references should not be stocked packed more than 3 months. MW-EN 14303-T1-WS1						EN 14303
Quality management	-	-	CE-marked according to EN 14303 ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001						EN 14303 EN ISO 9001 EN ISO 14001
Delivery form	-	-	Please contact your local ISOVER dealer All dimensions require minimum order quantities						-



www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our Isover sales offices. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

SAINT-GOBAIN ISOVER · “Les Miroirs” · 18, avenue d’Alsace · 92400 Courbevoie · France



Resilient glass mineral wool blankets engineered for cryogenic tank walls



Design specifications for storage tanks containing cryogenic fluid such as liquefied natural gas (LNG), ethylene or nitrogen for chemical or combustion processes, are not only highly demanding in terms of construction, but also in terms of insulation. With the tank volume expanding and contracting depending on the level of liquid inside, the insulation must offer high levels of both compressibility and resilience. To meet this requirement, ISOVER has developed the unique CRYOLENE product range.

CRYOLENE 682 has been designed for the insulation of cryogenic tank walls. The properties and performance of CRYOLENE 682 have been extensively tested by external institutes and the products are well-proven through decades of successful use worldwide in chemical and LNG applications.



HIGH FLEXIBILITY

High resilience and flexibility designed to meet the mechanical demands of cryogenic tanks during its full operational lifetime



IMPROVED LOGISTICS

Transport and storage savings with up to 80 % more material per pallet than standard solutions



FAST INSTALLATION

Flexibility, lightweight and long-length with high tensile-strength facing helps to handle and install CRYOLENE 682 rolls easier and faster



THERMAL INSULATION

Excellent thermal insulation performance at cryogenic temperatures



LIGHTWEIGHT

Lightweight solution with up to 50 % weight savings compared to standard insulation solutions



CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Thermal conductivity	T	[°C]	-150	-120	-100	-50	0	10	EN 12667 ISO 13787
	λ	[W/(m·K)]	0.013	0.017	0.019	0.026	0.034	0.036	
Thermal behaviour	T	[°C]	Operating temperature range -170 °C until + 120 °C						-

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES					STANDARD
Resilience	-	[KN/m2]	SNCMP method	0.5	1.0	2.5	4.0	-
		[%/Load]	SNCMP method	65.0	50.0	35.0	29.0	

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES					STANDARD
Specific thermal capacity	c	kJ/(kg.K)	1.03					ISO 10456
Reaction to fire	-	-	Non combustible; Euroclass A2-s1, d0 Fire Spread Index < 25; Smoke Development Index < 25					EN 13501-1 ASTM E84
Tensile strength	-	-	682 VV: reinforced glass veil 682 AA: reinforced aluminium foil The facing contributes to provide the CRYOLENE blanket its tensile strength					-
Chemical behaviour	-	-	Do not contribute to corrosion of stainless steel No short term water absorption by partial immersion (WS1)					ASTM C795 EN 1609
Application field	-	-	Product for use in cryogenic applications, such as Liquid Natural Gas storage tanks Shall be enclosed in vapor and water tight construction Non compatible with liquid oxygen					EN 14303
Material	-	-	CRYOLENE products are highly resilient glass mineral wool rolls designed to retain their fibers elasticity over time at temperatures ranging from -170 °C to +120 °C With quality marks EUCEB and RAL by the Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., unriskey regarding health according to German decree on dangerous substances, decree on prohibition of chemicals and to regulation EC No 1272/2008 Note Q					CINI 2.1.02
Facing	-	-	682 VV: faced with a yellow glass veil 682 AA: faced on one side with reinforced aluminium					-
Miscellaneous	-	-	Storage: Rolls must be stocked vertically For best resilient characteristics, all CRYOLENE references should not be stocked more than 3 months MW-EN 14303-T3-WS1					EN 14303
Quality management	-	-	CE-marked according to EN 14303 ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001					EN 14303 EN ISO 9001 EN ISO 14001
Delivery form	-	-	Please contact your local ISOVER dealer All dimensions require minimum order quantities					-



www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our Isover sales offices. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

SAINT-GOBAIN ISOVER · “Les Miroirs” · 18, avenue d’Alsace · 92400 Courbevoie · France



Resilient glass mineral wool blankets engineered for cryogenic applications



Design specifications for storage tanks containing cryogenic fluid such as liquefied natural gas (LNG), ethylene or nitrogen for chemical or combustion processes, are not only highly demanding in terms of construction, but also in terms of insulation. With the tank volume expanding and contracting depending on the level of liquid inside, the insulation must offer high levels of both compressibility and resilience. To meet this requirement, ISOVER has developed the unique CRYOLENE product range.

CRYOLENE 684 has been designed for the insulation of cryogenic pipe expansions. The properties and performance of CRYOLENE 684 have been extensively tested by external institutes and the products are well-proven through decades of successful use worldwide in chemical and LNG applications.



THERMAL INSULATION

Excellent thermal insulation performance at cryogenic temperatures



FAST INSTALLATION

Flexibility, lightweight and long-length rolls helps to handle and install CRYOLENE 684 easier and faster



FIRE REACTION

Non-combustible, Euroclass A1 for effective fire protection on industry sites



SOUND ABSORPTION

Up to 95% of sound energy absorbed due to optimal longitudinal air flow resistance and uniform porosity values



HIGH FLEXIBILITY

High resilience and flexibility designed to meet the mechanical demands of cryogenic tanks during its full operational lifetime



CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Thermal conductivity	T	[°C]	-150	-120	-100	-50	0	10	EN 12667 ISO 13787
	λ	[W/(m·K)]	0.013	0.017	0.019	0.026	0.034	0.036	
Thermal behaviour	T	[°C]	Operating temperature range -170 °C until + 120 °C						-

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES						STANDARD
Specific thermal capacity	c	kJ/(kg.K)	1.03						ISO 10456
Reaction to fire	-	-	684 VV: Non combustible; Euroclass A1 684 AA: Euroclass A2-s1, d0 684 VV: Fire Spread Index = 0; Smoke Development Index < 20 684 AA: Fire Spread Index < 25; Smoke Development Index < 25						EN 13501-1 ASTM E84
Tensile strength	-	-	684 VV: reinforced glass veil 684 AA: reinforced aluminium foil The facing contributes to provide the CRYOLENE blanket its tensile strength						-
Chemical behaviour	-	-	Do not contribute to corrosion of stainless steel No short term water absorption by partial immersion (WS1)						ASTM C795 EN 1609
Application field	-	-	Product for use in cryogenic applications, such as Liquid Natural Gas storage tanks Shall be enclosed in vapor and water tight construction Non compatible with liquid oxygen						EN 14303
Material	-	-	CRYOLENE products are highly resilient glass mineral wool rolls designed to retain their fibers elasticity over time at temperatures ranging from -170 °C to +120 °C With quality marks EUCEB and RAL by the Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., unriskey regarding health according to German decree on dangerous substances, decree on prohibition of chemicals and to regulation EC No 1272/2008 Note Q						CINI 2.1.02
Facing	-	-	684 VV: faced with a yellow glass veil 684 AA: faced on one side with reinforced aluminum						-
Quality management	-	-	CE-marked according to EN 14303 ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001						EN 14303 EN ISO 9001 EN ISO 14001
Delivery form	-	-	Please contact your local ISOVER dealer All dimensions require minimum order quantities						-



www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our Isover sales offices. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

SAINT-GOBAIN ISOVER · “Les Miroirs” · 18, avenue d’Alsace · 92400 Courbevoie · France



Nuclear-quality-designed special white glass mineral wool blanked stitched on stainless wire mesh



TECH Telisol 5.0 QN is the special thermal insulation solution designed to meet the tough requirements of the nuclear power industry for insulation inside the nuclear island. It can be used for insulation of the heat exchanger and steam pipes.

TECH Telisol 5.0 QN provides premium thermal insulation and keeps its performance long-term even when exposed to mechanical stress due to an elastic fiber structure. TECH Telisol is almost free of organic content, does not contain corrosion-supportive ions and is stitched with a yarn on austenitic stainless wire mesh to allow flexible bending. When upheated, the product can expand and fill possible gaps and joints.



NUCLEAR PLANT QUALITY

Especially designed and certified for use in nuclear applications



ENERGY EFFICIENCY

Premium thermal insulation performance at medium to higher service temperatures up to 350°C



FAST INSTALLATION

Flexibility, light weight and compressibility helps to handle and install the product easier and faster



FIRE REACTION

Non-combustible, Euroclass A1 for effective fire protection on industry sites



HIGH FLEXIBILITY

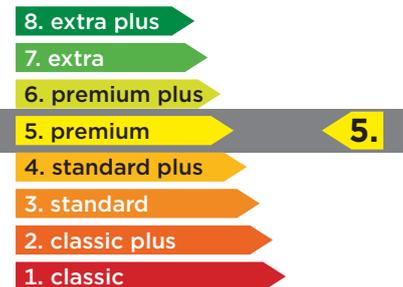
Highly-flexible with almost no binder or other organic, keeping elasticity over full operational life-time



ENVIRONMENTAL PROTECTION

Its Premium thermal performance allows to reduce significantly energy loses, the use of natural resources and CO2 emissions

Thermal Efficiency Indicator





CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES					STANDARD
Thermal conductivity	T	[°C]	50	100	150	200	300	EN 12667 ISO 13787
	λ	[W/(m·K)]	0.038	0.045	0.052	0.062	0.083	
Thermal behaviour	T	[°C]	Maximum Service Temperature 350 (under 500 Pa)					EN 14706

CHARACTERISTIC	SYMBOL	UNIT	QUANTITIES AND DECLARED VALUES					STANDARD
Reaction to fire	-	-	Non combustible; Euroclass A1 Fire Spread Index = 0; Smoke Development Index < 20					EN 13501-1 ASTM E84
Chemical behaviour	-	-	AS-Quality Do not contribute to corrosion of stainless steel					AGI Q 132 ASTM C795
Application field	-	-	Product for use in technical applications, such as tanks and vessels, boilers and process equipment. Especially designed and certified for use in nuclear applications (PMUC 09-0002)					EN 14303 PMUC 09-0002
Material	-	-	Glass mineral wool surfaced with a stainless steel hexagonal mesh without binder With quality marks EUCEB and RAL by the Gütegemeinschaft Mineralwolle e. V., unrisks regarding health according to German decree on dangerous substances, decree on prohibition of chemicals and to regulation EC No 1272/2008 Note Q					CINI 2.1.02
Miscellaneous	-	-	MW-EN-14303-T2-ST(+)350 Storage: Bags to be stored indoors in a dry and clean place away from source of humidity					EN 14303
Quality management	-	-	CE-marked according to EN 14303 ISOVER is certified according to EN ISO 9001 and EN ISO 14001					EN 14303 EN ISO 9001 EN ISO 14001

DELIVERY FORM: STANDARD DIMENSIONS / PACKAGING INFORMATION*				
Thickness d [mm]	Length [mm]	Width b [mm]	unit/pack	m ² /pack
50	5,000	1,000	1 roll	5.00
60	4,000	1,000	1 roll	4.00
80	3,000	1,000	1 roll	3.00
100	3,000	1,000	1 roll	3.00

* All dimensions require minimum order quantities / other dimensions on request.



www.isover-technical-insulation.com

The technical information corresponds to our present state of knowledge and experience at the date of printing (see imprint). But no legal guarantee can be given, unless it has been explicitly agreed. The state of experience and knowledge is developing continuously. Please see to it that you always use the latest edition of this information. The described product applications do not take special circumstances in consideration. Please verify whether our products are appropriate for the concrete application. For further information please contact our Isover sales offices. We deliver only according to our terms of trade and terms of delivery.

SAINT-GOBAIN ISOVER · "Les Miroirs" · 18, avenue d'Alsace · 92400 Courbevoie · France





Soluciones de Aislamiento Sostenible

Saint-Gobain Isover Ibérica, S. L., se reserva el derecho a la modificación sin previo aviso, y de manera total o parcial, de los datos contenidos en el presente documento. Asimismo, no puede garantizar la ausencia de errores involuntarios.



Documento impreso en papel Creator Silk; fabricado con celulosa no blanqueada con cloro gas.
(Elemental Chlorine-Free)



Soluciones de Aislamiento Sostenible



SAINT-GOBAIN ISOVER IBÉRICA, S.L.

Avda. del Vidrio, s/n
Azuqueca de Henares
19200 Guadalajara • Spain

Sede Social

C/ Príncipe de Vergara, 132
28002 Madrid • Spain

isover.es@saint-gobain.com
+34 901 33 22 11 • www.isover.es
www.isover-aislamiento-tecnico.es

-  @ISOVERes
-  ISOVERaislamiento
-  ISOVERaislamiento
-  ISOVER Aislamiento
-  ISOVERes

IN-ES-MAN-NOV-2020-001



PVP: 8,59 €