EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO

Edificios

Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios 1

Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS)

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Edificios

Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios 1

Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS)

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN

Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS)

CONTENIDO

La presente guía ha sido redactada por la Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMAT) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie "Guías Técnicas para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios".

Está permitida la reproducción, parcial o total, de la presente publicación, siempre que esté destinada al ejercicio profesional por los técnicos del sector. Por el contrario, debe contar con la aprobación por escrito del IDAE, cuando esté destinado a fines editoriales en cualquier soporte impreso o electrónico.

Depósito Legal: M-44696-2008
ISBN: 978-84-96680-36-4

IDAE
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
C/ Madera, 8
E-28004-Madrid
comunicacion@idae.es
www.idae.es

Madrid, septiembre de 2008

Índice

1 **Introducción** 7

2 **Objetivo** 9

3 **Propiedades y tipos de EPS** 11

3.1 Propiedades físicas 11

3.2 Propiedades químicas 17

4 **Aplicaciones del EPS en edificación** 19

5 **Tipos de fachadas y cubiertas** 21

6 **Soluciones constructivas y zonas climáticas** 23

7 **Criterios de calidad y diseño** 25

8 **Descripción de las soluciones constructivas** 27

9 **Recomendaciones para el proyecto y la ejecución** 39

10 **Casos prácticos** 43

11 **Normativas y recomendaciones** 63

12 **Bibliografía** 65

13 **Anexos** 67

Anexo I. Cuadro de características técnicas. Productos aislantes de EPS 67

Anexo II. Glosario de términos relacionados con el EPS 69

En abril de 2006, la Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes (ANDIMAT) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) firmaron un convenio de colaboración con el objetivo de promover actuaciones encaminadas a mejorar la eficiencia energética de la envolvente térmica de los edificios de nueva construcción y de los existentes, así como del aislamiento de los equipos y redes de tuberías de las instalaciones de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria.

Estas actuaciones se enmarcan en un doble contexto. Por una parte, la aprobación de un nuevo marco normativo para la energética edificatoria, más exigente en materia de aislamiento y desarrollado a través del Documento Básico de ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación, el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción y el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Por otra, la realización de Planes de Acción para la Eficiencia Energética, a los que obliga la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. Una de las medidas contenida en estos planes es una línea de apoyo económico para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes, con el fin de reducir su demanda energética en calefacción y refrigeración.

Para que la aplicación de la normativa sea adecuada y que las medidas de rehabilitación de los edificios existentes se ejecuten adecuadamente, se requiere un esfuerzo adicional de información, formación y concienciación dirigido a los profesionales que intervienen en el sector de la edificación para que apliquen correctamente las técnicas y a los ciudadanos para que demanden estas medidas. Aquí se hace imprescindible la participación de las familias de materiales aislantes agrupadas en ANDIMAT, que deben aportar soluciones técnicas concretas y cuantificar sus ventajas energéticas, económicas y medioambientales.

Para cumplir con este objetivo se ha elaborado una colección de guías divulgativas y técnicas. Las guías divulgativas están dirigidas a propietarios y titulares de edificios y recogen aspectos prácticos y orientaciones sobre las posibles intervenciones de mejora del aislamiento térmico en cubiertas, fachadas, suelos y medianeras, exponiéndolas en un lenguaje no técnico. Las guías técnicas son complementarias a las anteriores y están dirigidas a los profesionales del sector de la edificación, con información más detallada en el plano técnico.

La puesta en práctica de las medidas propuestas por estas guías, dirigidas a la mejora del aislamiento térmico de los edificios, puede suponer ahorros energéticos, económicos y de emisiones de dióxido de carbono del 30%, por un menor consumo de energía en las instalaciones térmicas de los edificios.

1 Introducción

El sector de la edificación, desde un punto de vista energético, comprende los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético de los edificios, representando el 17% del consumo de energía final nacional, del que corresponde un 10% al sector doméstico y un 7% al sector terciario. De éstos, el consumo energético de la calefacción y el aire acondicionado supone aproximadamente la mitad del consumo total de energía del edificio.

La mejora del aislamiento térmico de un edificio puede suponer ahorros energéticos, económicos y de emisiones de CO_2 del 30% en el consumo de calefacción y aire acondicionado, por disminución de las pérdidas.

Las reformas importantes de los edificios existentes son una buena oportunidad para tomar medidas eficaces con el fin de aumentar su rendimiento energético, tal como propone la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios. Para cumplir esta directiva, en España se han generado tres documentos legales nuevos: el Código Técnico de la Edificación, el nuevo RITE (revisado del de 1998) y la Certificación Energética de Edificios.

Como consecuencia de esta nueva legislación se puso en marcha el Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2005-2012, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. En la primera edición de este Plan –trienio 2005-2007– se establecen diferentes medidas para todos los sectores de la actividad económica nacional: edificios, industria, transporte, servicios públicos, equipamiento residencial, agricultura, pesca y transformación de la energía.

El cumplimiento de sus objetivos puede significar el ahorro de 12 millones de toneladas equivalentes de petróleo, la reducción de un 20% de las importaciones de petróleo y una reducción de emisiones de CO_2 de 32,5 millones de toneladas.

Destaca en el Plan de Acción 2005-2007 (PAE4) la medida de "rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes", cuyo objetivo es reducir la demanda energética en calefacción y refrigeración en el sector de edificios existentes, mediante la aplicación de criterios de eficiencia energética en la rehabilitación de su envolvente térmica.

En la segunda edición de este Plan de Acción 2008-2012 (PAE4+) se incluyen 3 medidas estratégicas para el sector edificación dirigidas al parque de edificios existentes, dos de ellas afectan al aislamiento y la tercera a mejora en instalaciones energéticas.

Así pues, como primera medida está prevista la rehabilitación de la envolvente térmica en los edificios existentes, cuyo objetivo es reducir su demanda energética en calefacción y refrigeración, mediante la aplicación de criterios de eficiencia energética en la rehabilitación de su envolvente térmica. Se destinan a ello 175 millones de euros como apoyo público, y se espera obtener un ahorro asociado de 2,17 millones de toneladas equivalentes de petróleo en energía

primaria y de 5,23 millones de toneladas de CO_2 en reducción de emisiones.

La segunda medida consiste en promover edificios con alta calificación energética (Clase A o B), bien procedentes de nueva construcción o de la rehabilitación de edificios existentes. Para ello se habilita una línea de ayudas de 209 millones de euros, previéndose conseguir el ahorro asociado en energía primaria de 2 millones de toneladas equivalentes de petróleo y la reducción de emisiones de 5,32 millones de toneladas de CO_2.

Para la comprensión general de esta guía, se entenderá como envolvente térmica del edificio, tanto los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior (cubiertas y fachadas) como las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables, que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

2 Objetivo

El objetivo de esta guía es ayudar a los propietarios y promotores de viviendas, tanto públicos como privados, a renovar sus edificios de un modo eficiente desde un punto de vista energético.

Esta Guía Técnica viene a complementar la Guía de Rehabilitación realizada por ANDIMAT e IDAE con la colaboración de ANAPE entre otras asociaciones sectoriales. En dicha guía se recogían los criterios generales para llevar a cabo una intervención de rehabilitación térmica de la envolvente.

En particular, la presente guía recoge diversas acciones en la rehabilitación de la envolvente del edificio, fachadas y cubiertas, con productos de poliestireno expandido (EPS), con el objetivo de que el edificio sea más eficiente, mediante la reducción de la demanda energética del edificio en calefacción y refrigeración, tratando de responder a preguntas como:

- ¿Cómo se puede ahorrar energía?.
- ¿Qué coste tiene y en cuánto tiempo se recupera la inversión?.
- ¿Qué recomendaciones constructivas se deben seguir?.

Todo edificio debe tender a ser eficiente energéticamente con el fin de:

- Reducir la factura energética de sus ocupantes.
- Aportar el bienestar y confort necesario a los usuarios.
- Minimizar los costes de mantenimiento.
- Aumentar el valor de la propiedad.
- Reducir la contaminación local y global.
- Conservar los recursos no renovables.

3 Propiedades y tipos de EPS

El poliestireno expandido o EPS es un material plástico espumado utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, en el campo del envase y embalaje para diferentes sectores de actividad y en una serie de aplicaciones diversas.

El poliestireno expandido-EPS se define técnicamente como: "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire".

3.1 Propiedades físicas

Resistencia térmica y conductividad térmica. (esta propiedad siempre se declara)

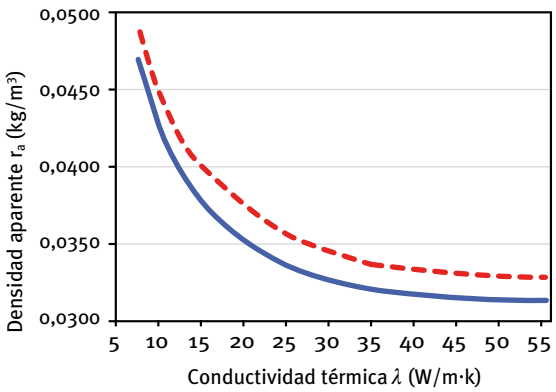
Normas de ensayo: UNE-EN 12667 y UNE-EN 12939.

Cada fabricante debe declarar el valor de la resistencia térmica y de la conductividad térmica. Esta es una de las principales diferencias con la anterior norma UNE que regulaba estos productos es España, en la que la propia norma marcaba el valor de la conductividad térmica para cada uno de los tipos de EPS. Ahora es el fabricante, y no la norma, el que dice cual es el valor de esta propiedad para cada uno de sus productos.

Además, esta propiedad se debe obtener después de aplicar un proceso estadístico a los valores obtenidos por ensayo en una serie de muestras, de forma que el valor declarado represente al menos el 90% de la producción con un nivel de confianza del 90%. Con ello se obtiene los valores de la resistencia térmica $R_{90/90}$ y de la conductividad térmica $\lambda_{90/90}$. Estos valores se redondean a la baja y al alza, respectivamente, para obtener los valores declarados, R_D y λ_D.

Por último, estas propiedades se expresan a una temperatura de 10°C y en m²·K/W para la resistencia térmica, y en W/m·K para la conductividad térmica.

A continuación se reproduce la curva que aparece en el anexo B de la norma armonizada. Esta curva expresa la relación entre la conductividad térmica (para un espesor de referencia de 50 mm y a una temperatura media de 10°C) y la densidad aparente. Esta curva sólo es válida para productos de EPS obtenidos con materias primas estándar. Otros productos obtenidos a partir de materias primas especiales que incorporan aditivos para mejorar el comportamiento térmico, tienen otra curva distinta.



En línea continua se indica la conductividad térmica media λ_{med}.

En línea discontinua se indica la conductividad térmica prevista λ_{prev}.

Asimismo, se puede obtener un valor más exacto de esta propiedad empleando las siguientes fórmulas (para valores de densidad comprendidos entre 8 y 55 kg/m³):

$$\lambda_{med} = 0{,}025314 + 5{,}1743 \cdot 10^{-5} \cdot r_a + 0{,}173606 / r_a \qquad [\lambda_{med} \text{ en W/m·K y } r_a \text{ en kg/m}^3]$$

$$\lambda_{prev} = 0{,}027167 + 5{,}1743 \cdot 10^{-5} \cdot r_a + 0{,}173606 / r_a \qquad [\lambda_{med} \text{ en W/m·K y } r_a \text{ en kg/m}^3]$$

En cualquier caso, se debe emplear en los cálculos los valores declarados por el fabricante, utilizando la información anterior para obtener valores de referencia.

A continuación se indica una tabla con los valores más habituales de la conductividad térmica, para una serie de densidades.

Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W/m·K)	
	Media	Prevista
9	0,045	0,047
10	0,043	0,045
12	0,040	0,042
15	0,038	0,040
18	0,036	0,038
20	0,035	0,037
22	0,034	0,036
25	0,034	0,035
28	0,033	0,035
30	0,033	0,035
32	0,032	0,034
35	0,032	0,034
38	0,032	0,034
40	0,032	0,034
42	0,032	0,034
45	0,032	0,033
48	0,031	0,033
50	0,031	0,033
52	0,031	0,033
55	0,031	0,033

Por ultimo, la resistencia térmica declarada también se puede obtener a partir del valor del espesor nominal y de la conductividad térmica 90/90.

Tolerancias dimensionales: (esta propiedad siempre se declara)

Normas de ensayo: UNE-EN 822, UNE-EN 823, UNE-EN 824 y UNE-EN 825.

Las tolerancias dimensionales de los productos manufacturados de poliestireno expandido no pueden exceder de los valores indicados en la siguiente tabla, en función de la clase declarada por el fabricante:

Propiedad	Clase	Tolerancias	
		Planchas	Rollos
Longitud	L1	± 0,6% o ± 3 mm[a]	-1%
	L2	± 2 mm	+ sin restricción
Anchura	W1	± 0,6% o ± 3 mm[a]	± 0,6%
	W2	± 2 mm	o ± 3 mm[a]
Espesor[b]	T1	± 2 mm	
	T2	± 1 mm	
Rectangularidad	S1	± 5 mm/1.000 mm	
	S2	± 2 mm/1.000 mm	
Planeidad[c]	P1	± 30 mm	
	P2	± 15 mm	
	P3	± 10 mm	
	P4	± 5 mm	

[a] El que presente la mayor tolerancia numérica
[b] Para otras clases ver 4.3.13.1
[c] La planeidad está expresada en metros corridos

Estabilidad dimensional

Normas de ensayo: UNE-EN 1603 y UNE-EN 1604.

Se distinguen dos tipos de estabilidad dimensional. La primera se refiere a la obtenida en las condiciones constantes de laboratorio (23°C y 50% de humedad relativa), y la segunda a la obtenida bajo unas condiciones específicas de temperatura y humedad aplicadas durante un periodo de tiempo (normalmente 48 horas).

La estabilidad dimensional indica la alterabilidad del material ante los cambios ambientales y se puede usar para probar la durabilidad de la resistencia térmica frente al calor, la climatología, el envejecimiento y la degradación.

Para la estabilidad dimensional en condiciones constantes de laboratorio se distinguen dos clases (siempre se declara):

Clase	Requisito (%)
DS(N) 5	± 0,5
DS(N) 2	± 0,2

Para la estabilidad dimensional en condiciones específicas de temperatura y humedad se distinguen los siguientes niveles y condiciones (se declara obligatoriamente la primera de las indicadas en la siguiente tabla):

Nivel	Condiciones	Requisito (%)
---	48 h, (23 ± 2)°C, (90 ± 5) % H.R.	≤ 1
DS(70,-)1	48 h, 70°C	≤ 1
DS(70,-)2	48 h, 70°C	≤ 1
DS(70,-)3	48 h, 70°C	≤ 1
DS(70,90)1	48h, 70°C, 90% H.R.	≤ 1

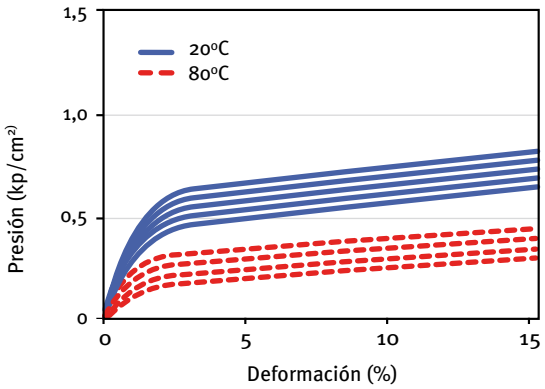
Los requisitos indicados en las tablas anteriores se entienden como el valor del cambio relativo en longitud Δe_l, anchura Δe_b y espesor Δe_b.

Deformación bajo condiciones específicas de carga a compresión y temperatura

Norma de ensayo: UNE-EN 1605.

Esta propiedad indica el comportamiento de un material sometido a carga. El comportamiento de la deformación del material depende de la temperatura medioambiental, siendo mayor la deformación cuanto mayor es la temperatura, tal y como muestra el gráfico de la derecha:

Para esta propiedad se distinguen los siguientes niveles, condiciones y requisitos:



Nivel	Condiciones	Requisito (%)
DLT(1)5	carga: 20 kPa temperatura etapa A: (23±5)ºC temperatura etapa B: (80±1)ºC tiempo en cada etapa: (48±1)h	≤ 5
DLT(2)5	carga: 40 kPa temperatura etapa A: (23±5)ºC temperatura etapa B: (70±1)ºC tiempo en cada etapa: (168±1)h	≤ 5
DLT(3)5	carga: 80 kPa temperatura etapa A: (23±5)ºC temperatura etapa B: (60±1)ºC tiempo en cada etapa: (168±1)h	≤ 5

El requisito indicado en la tabla anterior expresa el valor máximo de la diferencia entre la deformación relativa después de la etapa A y la deformación relativa después de la etapa B.

Resistencia a flexión

Norma de ensayo: UNE-EN 12089.

Un adecuado nivel de esta propiedad asegura una buena cohesión del material y, por tanto, unas propiedades de absorción de agua. La norma armonizada exige que el nivel mínimo de esta propiedad sea de 50 kPa (para asegurar la manipulación) pero permite que se declaren otros niveles superiores:

Nivel	Requisito (kPa)
BS50	≥50
BS75	≥75
BS100	≥100
BS115	≥115
BS125	≥125
BS135	≥135
BS150	≥150
BS170	≥170
BS200	≥200
BS250	≥250
BS350	≥350
BS450	≥450
BS525	≥525
BS600	≥600
BS750	≥750

Tensión de compresión

Norma de ensayo: UNE-EN 826.

Propiedad necesaria para aplicaciones en las que se aplica carga sobre el material aislante. La propiedad indica la tensión de compresión cuando el material se deforma un 10% de su espesor. La norma armonizada permite que se declaren los siguientes valores para esta propiedad:

Nivel	Requisito (kPa)
CS(10)30	≥30
CS(10)50	≥50
CS(10)60	≥60
CS(10)70	≥70
CS(10)80	≥80
CS(10)90	≥90
CS(10)100	≥100
CS(10)120	≥120
CS(10)150	≥150
CS(10)200	≥200
CS(10)250	≥250
CS(10)300	≥300
CS(10)350	≥350
CS(10)400	≥400
CS(10)500	≥500

Fluencia a compresión

Norma de ensayo: UNE-EN 1606.

La fluencia a compresión es la deformación bajo una carga específica (σ_c) en relación con el tiempo. Con esta propiedad se declara la reducción total de espesor, el valor máximo de fluencia a compresión, el tiempo de extrapolación en años y la tensión declarada a la que se produce. Así, por ejemplo, un código CC(2/1,5/25)50 significa una fluencia a compresión que no excede del 1,5% y de 2% para la reducción total de espesor después de una extrapolación de 25 años bajo una carga declarada de 50 kPa.

En el punto D.2 de la norma UNE-EN 13163 se indica una relación entre el comportamiento a compresión a largo plazo y la tensión de compresión al 10% de deformación, de forma que se espera que los productos de poliestireno expandido tengan una fluencia a compresión del 2% o menos después de 50 años, mientras se sometan a una tensión de compresión permanente del 30% de la correspondiente a la tensión de compresión (es decir, para una tensión de compresión CS(10)100, la fluencia a compresión será igual o menor del 2% para una compresión permanente de 30 kPa durante 50 años).

Absorción de agua

Norma de ensayo: UNE-EN 12087 y UNE-EN 12088.

Se trata de ensayos acelerados para determinar el comportamiento del material al estar en contacto con el agua. Hay dos tipos:

- Absorción de agua a largo plazo por inmersión (UNE-EN 12087). Indica la absorción de agua del material tras un ensayo de 28 días manteniéndolo completamente sumergido. Se permiten cuatro niveles:

Nivel	Requisito (%)
WL(T)5	≤5
WL(T)3	≤3
WL(T)2	≤2
WL(T)1	≤1

- Absorción de agua a largo plazo por difusión (UNE-EN 12088). Indica la absorción de agua del material tras un ensayo de 28 días siendo atravesado continuamente por vapor de agua, por ello, este ensayo es más exigente que el de inmersión. Se permiten cuatro niveles:

Nivel	Requisito (%)
WD(V)15	≤15
WD(V)10	≤10
WD(V)5	≤5
WD(V)3	≤3

Resistencia a la congelación-descongelación

Norma de ensayo: UNE-EN 12091.

Se trata de un ensayo acelerado en el que se somete al material a 300 series de ciclos de congelación (-20ºC) y de descongelación (+20ºC), comprobando la variación en el nivel de absorción de agua y en la tensión a compresión. En este caso, la exigencia de la norma EN 13163 es que la variación de la tensión de compresión sea inferior al 10% después del ensayo.

Clasificación de reacción al fuego

Norma de ensayo: UNE-EN 13501-1.

La reacción ante el fuego es la única propiedad en el campo de los productos de aislamiento térmico para los cuales la Unión Europea ha impuesto Euroclases. Este nuevo sistema europeo de clasificación ante el fuego ha provocado la armonización de los métodos de ensayo de fuego, sustituyendo a los métodos de ensayo nacionales. El nuevo sistema de clasificación hace referencia a la clasificación obtenida en la aplicación final de uso del producto.

Los productos de poliestireno expandido desnudos obtiene una clasificación E o F. En la aplicación final de uso, el conjunto poliestireno expandido más revestimiento puede obtener Euroclases E, D, C o B. Por ejemplo, el EPS recubierto de una capa de yeso o de mortero de 1,5 cm de espesor obtiene la clasificación B, s1 do.

Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ

Norma de ensayo: UNE-EN 12086.

El factor de resistencia a la difusión del vapor de agua se usa para la comprobación de las condensaciones del vapor de agua. A falta de valores declarados por el fabricante, la norma UNE-EN 13163 en su anexo D.2 indica los siguientes:

Tipo	Tensión de compresión (kPa)	Resistencia a flexión (kPa)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ	Permeabilidad al vapor de agua δ mg/(Pa·h·m)
EPS 30	30	50	20 a 40	0,018 a 0,036
EPS 50	50	75		
EPS 60	60	100		
EPS 70	70	115		
EPS 80	80	125		
EPS 90	90	135	30 a 70	0,010 a 0,024
EPS 100	100	150		
EPS 120	120	170		
EPS 150	150	200		
EPS 200	200	250	40 a 100	0,007 a 0,018
EPS 250	250	350		
EPS 300	300	450		
EPS 350	350	525		
EPS 400	400	600		
EPS 500	500	750		

3.2 Propiedades químicas

Compatibilidad con otros productos

Sustancia		Sustancia		Sustancia	
Agua	+	**Ácidos débiles:**		Acrilonitrilo	-
Agua del mar	+	Ácido carbónico	+	Cetonas	-
Lejías:		Ácido cítrico	+	Diluyentes para lacas	-
Agua amonacal	+	Ácido húmico	+	Dimetilformamida	-
Agua de cal	+	Ácido láctico	+	Ester	-
Lejías blanqueantes	+	Ácido tartárico	+	Eter	-
Potasa cáustica	+	**Gases:**		Hidrocarburos	
Soluciones jabonosas	+	a) Inorgánicos:		halogenados	-
Sosa cáustica	+	Amoniaco	-	Tetrahidrofurano	-
Ácidos diluidos:		Bromo	-	**Mat. Const. Inorgánicos:**	
Ácido acético, 50%	+	Cloro	-	Anhidrita	+
Ácido clorhídrico, 7%	+	Dióxido de azufre	-	Arena	+
Ácido clorhídrico, 18%	+	b) Orgánicos:		Cal	+
Ácido fluorhídrico, 4%	+	Butadieno	-	Cemento	+
Ácido fluorhídrico, 40%	+	Butano	-	Yeso	+
Ácido fórmico, 50%	+	Buteno	-	**Mat. Const. Orgánicos:**	
Ácido fosfórico, 7%	+	Etano	+	Bitumen	+
Ácido fosfórico, 50%	+	Eteno	+	Bitumen frío/masillas	
Ácido nítrico, 13%	+	Etino	+	base acuosa	+
Ácido nítrico, 50%	+	Gas natural	+	Bitumen frío/masillas	
Ácido sulfúrico, 10%	+	Metano	+	base disolvente	-
Ácido sulfúrico, 50%	+	Óxido de propileno	-	**Hidrocar. aromáticos:**	
Ácidos concentrados:		Propano	+	Benceno	-
Ácido acético, 96%	-	Propeno	+	Cumeno	-
Ácido clorhídrico, 36%	+	**Gases licuados:**		Estireno	-
Ácido fórmico, 99%	+	a) Inorgánicos:		Etilbenceno	-
Ácido nítrico, 65%	+	Amoniaco	+	Fenol, sol. Acu. 1%	+
Ácido propiónico, 99%	-	Dióxido de azufre	-	Fenol, sol. Acu. 33%	+
Ácido sulfúrico, 98%	+	Gases nobles	+	Tolueno	-
Ácidos fumantes:		Hidrógeno	+	Xileno	-
Ácido nítrico	-	Nitrógeno	+	**Vapores de:**	
Ácido sulfúrico	-	Oxígeno	+	Alcanfor	-
Anhídridos:		b) Orgánicos:		Naftalina	-
Anhídrico acético	-	Butano	-		
Dióxido de carbono, sólido	+	Buteno	-		
Trióxido de azufre	-	Butadieno	-		
		Etano	+		

+ Sin variación
± Ligera variación
- Fuerte variación

Propiedades biológicas

El poliestireno expandido no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible, no enmohece y no se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos de EPS cumplen con las exigencias sanitarias y de seguridad e higiene establecidas, con lo que pueden utilizarse con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje destinados al contacto alimenticio.

El EPS no tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial y no es peligroso para las aguas. Se puede adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerado.

En cuanto al efecto de la temperatura, mantiene las dimensiones estables hasta los 85°C. No se produce descomposición ni formación de gases nocivos.

4 Aplicaciones del EPS en edificación

Las cualidades del poliestireno expandido, tanto en su amplia gama de prestaciones así como los formatos en que se puede presentar, le convierten en material con amplias posibilidades de aplicación dentro del ámbito de la construcción. Las aplicaciones en esta área se centran fundamentalmente en la edificación con soluciones constructivas para el aislamiento termoacústico de los diferentes cerramientos así como en soluciones de aligeramiento y conformado de diversas estructuras de la edificación, además de otras aplicaciones como moldes de encofrado y juntas de dilatación.

A continuación se analizan las soluciones constructivas en que intervienen los productos de poliestireno expandido-EPS.

Algunas de estas soluciones, como la cubierta invertida, se deben al desarrollo de materias primas específicas que permiten obtener productos de poliestireno expandido-EPS con baja absorción de agua (denominado como poliestireno expandido hidrófobo o EPSh). La aplicación se viene empleando en todo Europa y en algunos países ya han aparecido normativas específicas o documentación técnica para su estandarización. En España se dispone de una Guía de DAU elaborada por el ITeC.

Productos tradicionales, como el poliestireno expandido-EPS *elastificado o flexibilizado*, que se empleó corrientemente en los años 70 y 80 en la solución de suelo flotante para reducir la transmisión de ruido de impactos a través de los forjados, vuelve a tener un papel protagonista con las exigencias de aislamiento acústico de la actual normativa de edificación.

Con las tablas que relacionan las especificaciones de los productos con cada una de las aplicaciones se trata de facilitar la labor de proyectistas, jefes de obra y oficinas de control técnico a la hora de definir el correcto producto para la solución constructiva.

Las aplicaciones se dividen en tres grupos: fachadas, cubiertas y suelos. Se indican a continuación las correspondientes a fachadas y cubiertas, que son las que recoge esta guía técnica de rehabilitación.

- 1 FACHADAS
  - 1.1 Aislamiento intermedio
    - 1.1.1 Doble hoja cerámica
    - 1.1.2 Trasdosado interior aislante
  - 1.2 Aislamiento por el exterior
    - 1.2.1 Bajo revoco
    - 1.2.2 Fachada ventilada
    - 1.2.3 Muros enterrados
- 2 CUBIERTAS
  - 2.1 Cubiertas planas
    - 2.1.1 Plana convencional
    - 2.1.2 Plana invertida
  - 2.2 Cubiertas inclinadas
    - 2.2.1 Aislamiento sobre soporte horizontal (entre tabiquillos)
    - 2.2.2 Aislamiento sobre soporte inclinado

5 Tipos de fachadas y cubiertas

En esta guía se analizarán las soluciones constructivas de rehabilitación más habituales en la que se emplea poliestireno expandido (EPS). Las tipologías de fachadas y cubiertas analizadas coinciden con aquellas en las que estas soluciones son las idóneas, es decir:

Tipología edificatoria	Solución constructiva
Cubierta plana impermeabilizada	Aislamiento de cubierta invertida
Cubierta inclinada (tejado)	Aislamiento de cubierta bajo teja
Fachada de ladrillo cara vista	Aislamiento de fachada por el interior
Fachada de ladrillo revocada	Aislamiento de fachada exterior bajo revoco

Las intervenciones en fachada son recomendadas en todo tipo de edificaciones y el tipo de intervención viene condicionado por el aspecto exterior de la fachada, su posibilidad de conservación, el espacio aprovechable en el interior, etc.

En el caso de la cubierta es especialmente rentable en edificios de poca altura (dos o tres plantas); no obstante, en las últimas plantas de toda edificación tienen una repercusión notable al tratarse de una zona del edificio muy expuesta tanto en los ciclos de invierno como de verano.

Donde sea posible es conveniente realizar una rehabilitación integral de la envolvente, esto significa que no debemos limitarnos a tratar los tramos centrales de cubiertas y fachadas, sino que se deben tratar los puentes térmicos, para evitar patologías de condensaciones intersticiales principalmente.

6 Soluciones constructivas y zonas climáticas

Las soluciones constructivas tradicionalmente están unidas a las zonas climáticas, especialmente en las cubiertas donde lo habitual son cubiertas planas en zonas cálidas y secas mientras que los tejados son propios de climas lluviosos y fríos.

En el caso de las fachadas el acabado es más propio de la tradición y los condicionantes de abastecimiento de la zona. Aquellas zonas con fuerte tradición cerámica han desarrollado más intensamente la arquitectura del "cara vista", mientras que otras con otros recursos han empleado el revoco y sus combinaciones con diversos tipos de cerramientos pétreos o cerámicos.

No obstante, hoy en día se pueden encontrar todo tipo de edificios en las diversas zonas climáticas de nuestro país, por tanto esta guía recogerá en su análisis práctico toda la casuística de las zonas climáticas para las tipologías constructivas seleccionadas.

Las zonas climáticas analizadas corresponden a las cinco zonas de invierno que recoge el Código Técnico de la Edificación (A,B,C,D y E).

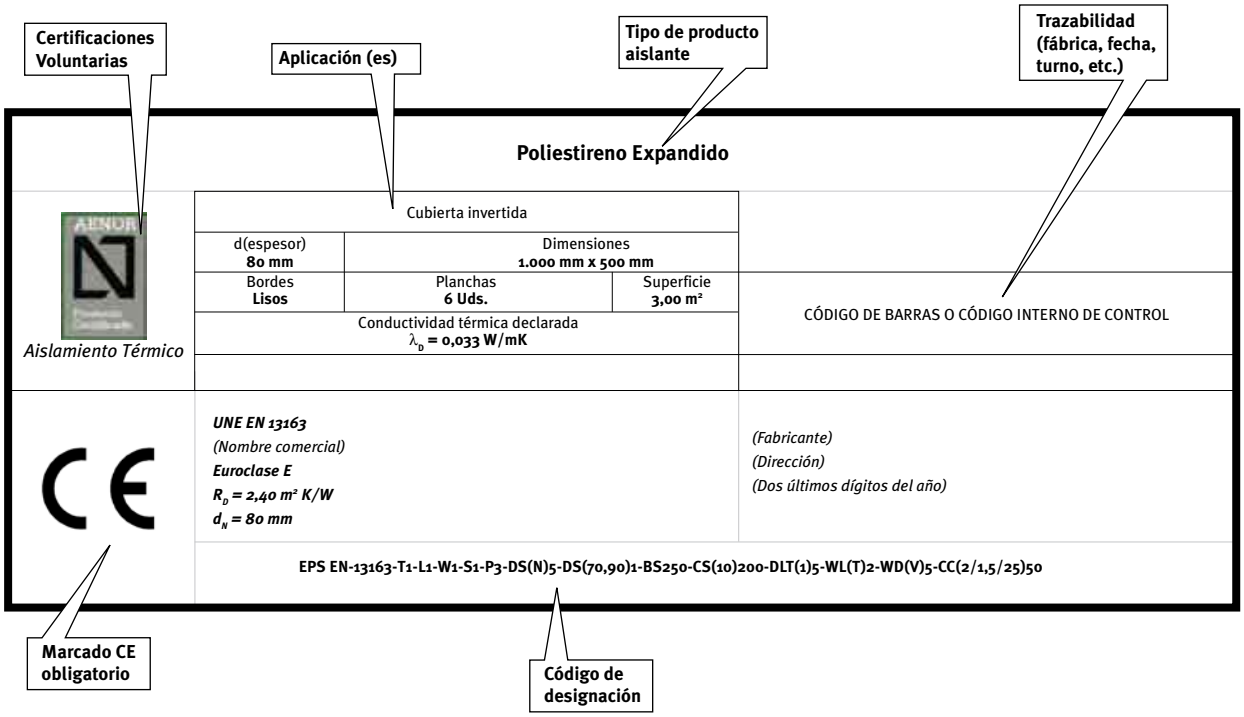
7 Criterios de calidad y diseño

Los productos de poliestireno expandido (EPS) empleados en construcción como aislamiento térmico llevan Marcado CE conforme a la norma de producto UNE-EN 13163. (Ver Anexo I).

Las especificaciones de los productos deben quedar recogidas en las etiquetas y en la información suministrada por el fabricante (ver Anexo I). Dicha información debe recoger de forma expresa aquellas especificaciones necesarias para cada aplicación constructiva.

En esta guía se recogerán las especificaciones necesarias de los productos empleados en las aplicaciones de rehabilitación descritas.

A continuación presentamos un ejemplo de ETIQUETA de un producto de EPS empleado como aislamiento térmico en Edificación.



8 Descripción de las soluciones constructivas

Se van a analizar las soluciones constructivas, dividiendo las intervenciones en dos grandes grupos: fachadas y cubiertas.

Fachadas

Las fachadas pueden rehabilitarse térmicamente por el interior, por el exterior y en caso de cámaras de aire accesibles rellenando éstas.

Dejando aparte el relleno de cámaras de aire cuya técnica requiere de especialistas con experiencia, los muros que habitualmente forman la fachada provocan en el propietario la cuestión de cómo intervenir:

- sufrir molestias de los trabajos en el interior y pérdida de espacio útil pero mantener el aspecto exterior de la fachada;
- o modificar el aspecto exterior de la fachada.

Las soluciones constructivas que recoge esta guía son dos:

- Aislamiento por el exterior bajo revoco.
- Aislamiento por el interior.

Cubiertas

Las cubiertas se dividen a su vez en dos grandes grupos: planas e inclinadas.

Las cubiertas planas pueden rehabilitarse térmicamente por el interior y por el exterior. Las cubiertas inclinadas pueden rehabilitarse térmicamente por el exterior y en caso de espacios bajo cubierta accesible, por el interior bajo el faldón o bien sobre forjado.

La intervención en este caso viene condicionada por otros trabajos a realizar sobre la cubierta, como:

- Reparación o renovación completa de la impermeabilización (operación muy común en las cubiertas planas).
- Renovación del tejado.
- Reforma en el techo bajo cubierta.
- Modificación del espacio bajo cubierta.

A continuación se describen con detalle las cuatros soluciones constructivas:

- Aislamiento de fachada por el exterior bajo revoco.
- Aislamiento de fachada por el interior.
- Aislamiento de cubierta plana invertida.
- Aislamiento de cubierta inclinada bajo teja.

Aplicadas a un mismo edificio con 2 tipos de fachadas y un tipo de cubierta, por lo que se analizarán 6 opciones de mejora del aislamiento.

Solución 1: Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

El diseño y la instalación de aislamiento por el exterior bajo revoco es una cuestión de especialistas.

Se recomienda el uso de sistemas certificados tanto en los productos aislantes como en el resto de productos que forman el sistema: fijaciones, imprimaciones, revestimientos, acabados, refuerzas, etc. En el mercado existen proveedores que disponen de Documentos de Idoneidad Técnica de todo el sistema constructivo.

Especialmente recomendado en los siguientes casos:

- Seguridad por el reforzamiento de la fachada para evitar desprendimientos.
- Mantenimiento y estética por el deterioro por efecto del clima y el envejecimiento de los materiales.

En todos estos casos de reparación exterior de la fachada es recomendable el uso de sistemas de aislamiento por el exterior ya que los costes fijos asociados a la intervención son elevados y el sobrecoste de incluir el sistema de aislamiento queda muy reducido en esos casos.

Se debe prestar especial atención a la hora de realizar el proyecto a los encuentros con la cubierta, los balcones, la carpintería exterior (ventanas y puertas) así como cualquier heterogeneidad que tenga la fachada.

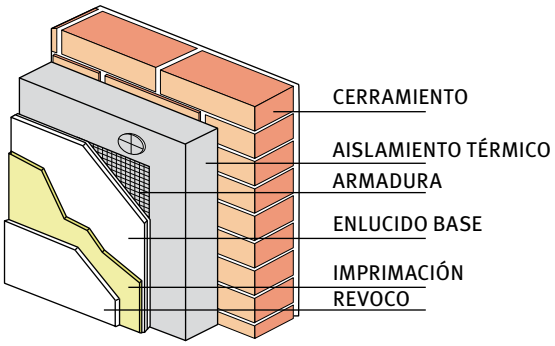
Descripción del sistema de aislamiento exterior bajo revoco

Los sistemas tienen tres grupos de materiales:

- El aislamiento, en esta caso poliestireno expandido (EPS), cuya misión es ahorrar energía al edificio.
- Las fijaciones, cuya misión es asegurar la unión del sistema al muro soporte.
- Los acabados, cuya misión principal es proteger al sistema de las solicitaciones climatológicas, mecánicas, químicas, etc. y como misión secundaria aportar parte de la estética del edificio.

El sistema está formado por los siguientes elementos:

- Aislamiento (EPS).
- Mortero adhesivo y/o fijaciones mecánicas (espigas).
- Perfiles metálicos o plásticos para el replanteo del sistema y los encuentros con los huecos de la fachada (ventanas, puertas) y los remates superior e inferior.
- Revestimiento base o imprimación.
- Mallas de refuerzo.
- Revestimiento de acabado.



Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser al menos las siguientes:

Aislamiento por el exterior bajo revoco

Especificación	Norma de ensayo	NIVEL Mínimo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L2
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W2
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T2
Rectangularidad	UNE-EN-824	S2
Planimetría	UNE-EN-825	P4
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS (N)2
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23ºC 90% HR	UNE-EN-1604	<1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS50
Reacción al fuego	UNE-EN-13501-1	E
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	UNE-EN-1607	TR100

Ventajas de los sistemas de aislamiento por el exterior bajo revoco

- Protege el cerramiento de fábrica del edificio.
- Mejora la eficiencia energética del edificio.
- Asegura un índice robusto de eficiencia energética.
- Reduce el efecto de los puentes térmicos, minimiza el riesgo de condensaciones intersticiales y las pérdidas de calor.
- Reduce la solicitación térmica de la estructura.
- Transfiere el punto potencial de condensación fuera de la estructura de edificio.
- Optimiza el uso de la inercia térmica, limitando las fluctuaciones de la temperatura interior del edificio.
- Puede contribuir a aislamiento acústico de la fachada en caso de renovación integral (incluye ventanas).
- Sistemas disponibles en diversos acabados.
- Relativamente fácil y rápido de instalar.
- Sistema fácil de controlar durante la ejecución ya que el espesor de aislamiento queda visible.
- Sistemas e instalaciones fácilmente certificables y asegurables.

Ventajas particulares en caso de rehabilitación

- Proporciona más mejoras al edificio que otros sistemas.
- Renueva el aspecto de la fachada.
- Corrige grietas y fisuras soporte evitando posibles filtraciones.
- Tiene bajos costes de mantenimiento.
- Aumenta la vida útil del edificio.
- Aumenta el valor de la propiedad.
- Evita trabajos en el interior.
- Se puede instalar en recitos ocupados.
- No reduce el espacio útil.
- Se pueden instalar grandes espesores que optimicen la intervención.
- Acompañado de condiciones de ventilación, contribuye a la eliminación de problemas de salubridad interior como humedades y condensaciones.

Detalles críticos del sistema en general

- El revestimiento debe tener las especificaciones necesarias para satisfacer las necesidades de protección del sistema.
- Deben respetarse las especificaciones del fabricante del mortero de revestimiento en cuanto a las juntas de dilatación del sistema.

- Deben respetarse las juntas de unión y los sellados del sistema con los encuentros, las instalaciones, etc.
- Se deben detallar en el proyecto cómo van a quedar las instalaciones que atraviesan el sistema o que necesitan perforarlo en sus fijaciones (por ejemplo, la instalación de gas natural).

Detalles críticos del sistema en rehabilitación

- Las fijaciones al soporte: se debe tener el cuenta el tipo de sustrato así como su resistencia mecánica y la degradación sufrida con el tiempo.
- Se debe evitar la corrosión de los sistemas de fijación y los posibles movimientos del sistema completo. Si es necesario se reparará previamente el soporte en las zonas con huecos o de baja adherencia.
- Los puentes térmicos: especialmente en los contornos de ventanas, puertas y balcones.
- Juntas de dilatación: además de las juntas propias del sistema de revestimiento (especificadas por cada fabricante), se deben respetar la juntas de dilatación estructural del edificio existente.
- Estudio en profundidad de los encuentros con las instalaciones existentes.

Durabilidad y mantenimiento

El aislamiento exterior bajo revoco es vulnerable a ser dañado sobre todo en la planta a pie de calle, por ello debe protegerse con un zócalo o bien reforzar el revoco y las esquinas.

El mantenimiento del material de revestimiento es función de la ubicación del edificio. Factores como la polución ambiental o las solicitaciones climatológicas marcarán el aspecto de la fachada y, por tanto, las necesidades de mantenimiento de la misma.

Para los acabados acrílicos, los fabricantes recomiendan lavados a presión cada 5 ó 10 años según la ubicación del edificio.

Más información sobre la solución constructiva en la GUÍA DE APLICACIONES DEL EPS, editada por ANAPE.

Detalles CAD disponibles en www.anape.es

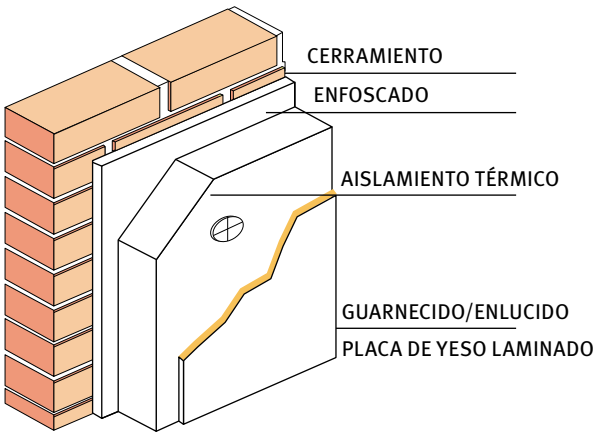
Más información sobre la normativa vigente de la aplicación en la GUÍA CONFORMIDAD CON EL CTE editada por ANAPE.

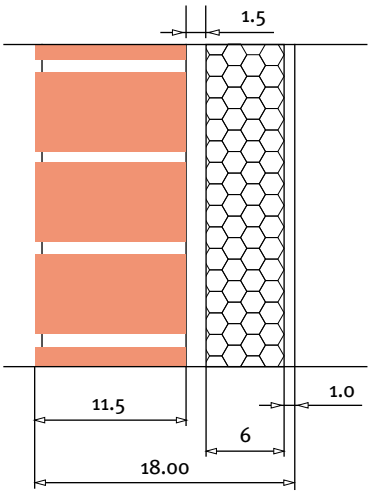
Solución 2: Aislamiento de fachadas por el interior

La rehabilitación térmica de la fachada por el interior se recomienda especialmente en los siguientes casos:

- Durante la realización de otros trabajos en el interior del edificio (suelos, particiones, ventanas, etc.).
- Cuando no se considere modificar el aspecto exterior del edificio con lo que no se realizará ningún gasto en elementos auxiliares como andamios.
- Siempre que compense la pérdida de espacio útil con los ahorros energéticos y beneficios medioambientales que supone la intervención.

Se debe prestar especial atención a los encuentros con cerramientos (ventanas y puertas) así como a la resolución de los puentes térmicos.





Descripción del sistema de aislamiento por el interior con acabado de placa de yeso laminado

Sobre la cara interior de la fachada se fijan los paneles aislantes (con adhesivos o con fijaciones mecánicas) y a continuación se coloca el revestimiento que puede ser un enlucido de yeso o placa de yeso laminado. Se puede sustituir el conjunto por un complejo de aislamiento y placa de yeso laminado que normalmente se adhiere al muro soporte.

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser al menos las siguientes:

Aislamiento por el interior

Especificación	Norma de ensayo	NIVEL Mínimo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS (N)5
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23ºC 90% HR	UNE-EN-1604	<1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS50
Transmisión al vapor de agua	UNE-EN-12086	MU 30-70

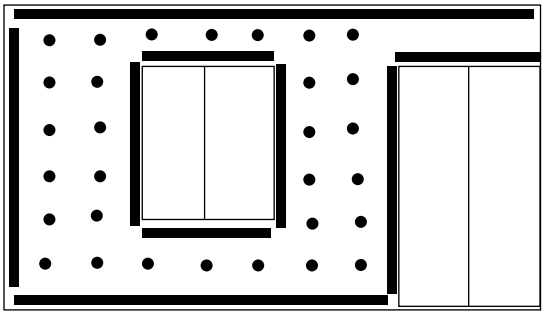
Ventajas del sistema de aislamiento por el interior con acabado PYL

Un factor clave para la renovación térmica de la fachada por el interior es la optimización del espacio útil.

Por ello, los sistemas recomendados tienen la máximas prestaciones con el mínimo espesor, es el caso de los complejos de aislamiento y placa de yeso laminado. Existen sistemas de aislamiento de EPS con materiales especiales de baja conductividad térmica (lambda 0,030 - 0,032 W/m·K) que aportan más aislamiento con menos espesor.

Detalles críticos del sistema en rehabilitación

- *La fijación de las planchas de aislamiento* es la parte más crítica del sistema. Los sistemas adheridos deben emplearse en edificios sin patologías de humedades por filtraciones o condensaciones superficiales, para evitar un posible despegue del adhesivo. En ese caso se emplearán fijaciones mecánicas o bien se reparará la red para asegurar una correcta protección de la pared frente a humedades.
- El adhesivo se aplicará mediante pelladas de 5 cm de diámetro separadas unos 40 cm entre sí y 5 cm de los bordes. También se aplicarán bandas de adhesivo en el perímetro cercano a puertas y ventanas así como en la periferia de la pared.
- Se pondrá especial atención en el cálculo de condensaciones intersticiales, en caso de que se necesario se emplearán sistemas que incluyan una barrera de control de vapor en el lado caliente del aislamiento, por ejemplo, una lámina de polietileno.
- Se cuidarán los sellados y remates de la placa de yeso laminado en esquinas y encuentros con ventanas, puertas y otros elementos de la fachada.
- Se tratarán los puentes térmicos, en contornos de puertas y ventanas, así como pilares y cajas de persiana para optimizar la mejora energética de la fachada y evitar condensaciones.



En general se recomienda seguir los consejos del fabricante del sistema elegido. Más información sobre la solución constructiva en la GUÍA DE APLICACIONES DEL EPS, editada por ANAPE.

Más información sobre la normativa vigente de la aplicación en la GUÍA DE CONFORMIDAD CON EL CTE editada por ANAPE.

Solución 3: Aislamiento de cubiertas planas. Caso de cubierta invertida

En general, es preferible realizar una intervención en cubierta por el exterior para no molestar a los usuarios del edificio y no reducir la altura útil bajo cubierta.

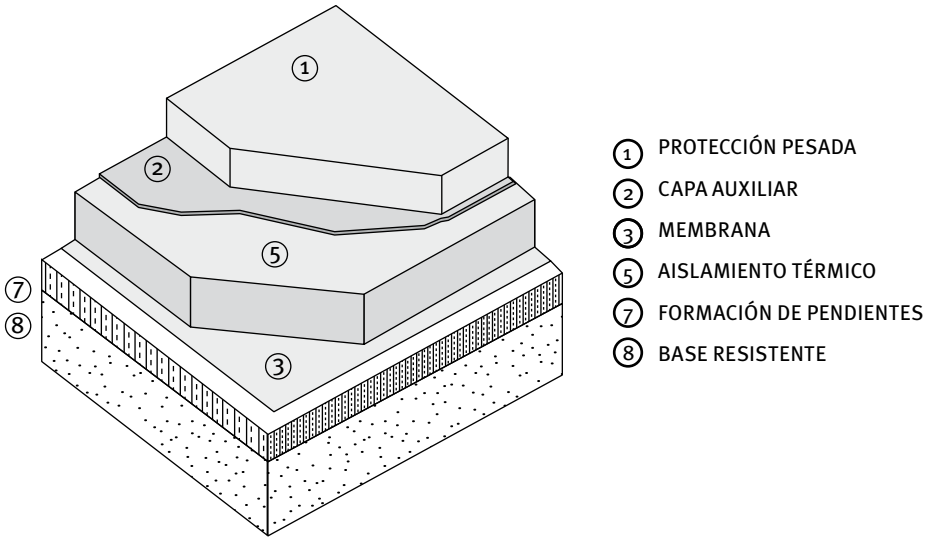
Se recomienda especialmente esta aplicación cuando se aproveche la renovación de la impermeabilización por encontrarse deteriorada y ser posible causa de goteras y otras patologías debidas a las humedades.

Las cubiertas planas se clasifican en frías o calientes en función de la posición del aislamiento con respecto al sistema de impermeabilización.

La *cubierta caliente* es *propia de climas lluviosos y fríos* en los que la impermeabilización se coloca sobre el aislamiento para protegerlo y mantener sus propiedades térmicas en esas condiciones climáticas.

La *cubierta fría o invertida* es *propia de climas cálidos y secos*. En este caso el aislamiento es el que protege la impermeabilización al colocarse encima y reducir las solicitaciones térmicas y por tanto su desgaste. En este caso se coloca una protección sobre el aislamiento según el uso que se vaya a dar a la cubierta.

El poliestireno expandido (EPS) empleado en esta aplicación se denomina EPS-h (EPS hidrófobo). Es un material específico de baja absorción de agua, para aplicaciones que requieran esta propiedad en el aislamiento, como es el caso de la cubierta invertida.



Descripción de la cubierta invertida con EPS-h

En la cubierta plana tradicional la lámina de impermeabilización está expuesta a unas duras condiciones de trabajo, en nuestro país especialmente altas temperaturas, lo que provoca generalmente su deterioro con el tiempo y finalmente su fallo.

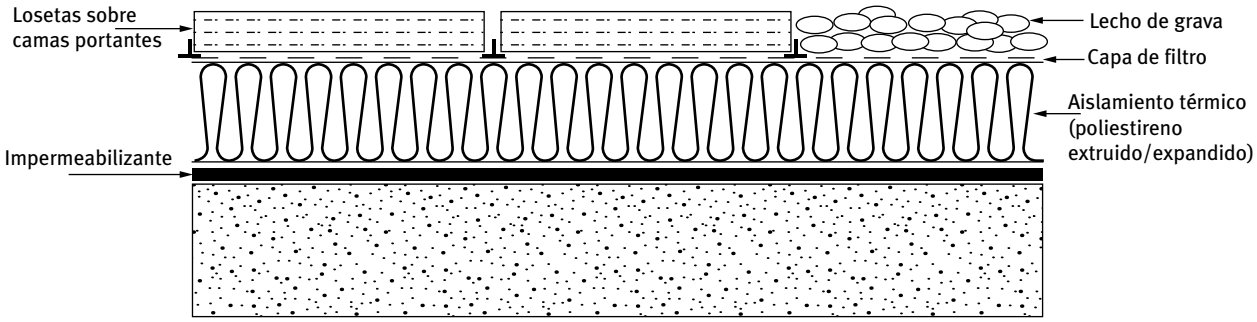
La cubierta invertida con EPS-h es un sistema de aislamiento que protege la lámina de impermeabilización de los cambios de temperatura y del deterioro continuo por efectos del clima y el uso o mantenimiento de la cubierta.

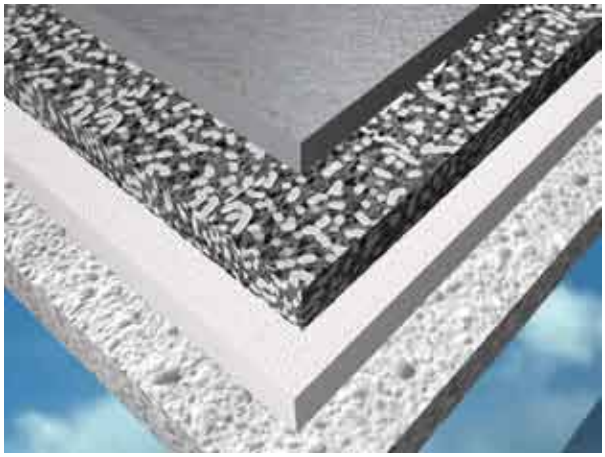
El producto aislante que forme parte de la cubierta invertida en España debe por tanto aportar una serie de prestaciones al sistema:

- Resistencia a la absorción de agua.
- Estabilidad dimensional en condiciones de temperatura y humedad.
- Resistencia mecánica en función de su uso.

La cubierta invertida tiene diferentes aplicaciones en función de su uso:

Cubierta no transitable o con acceso limitado al mantenimiento. En este caso el acabado de la cubierta suele ser de grava (5 cm) dejando unas zonas transitables a modo de pasillos para el mantenimiento.

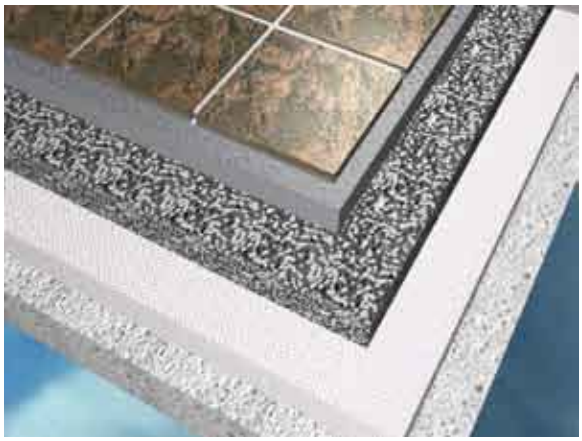




Cubierta no transitable

Cubierta transitable. En este caso el acabado suele ser con elementos pétreos colocados sobre elevadores, de modo que la cubierta permanece ventilada. También existen en el mercado compuestos integrados por productos aislantes y acabado pétreo a base de mortero. Se debe evaluar la resistencia a la carga de viento.

Cubierta ajardinada. En este caso el acabado es el usual en una cubierta ecológica o ajardinada, complementada con un sistema de drenaje.



Cubierta transitable

Cubierta ajardinada

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser al menos las siguientes:

Cubierta plana invertida con EPS-h

Especificación	Norma de ensayo	Nivel Mínimo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS (N)2
Estabilidad en condiciones específicas 48h 70°C 90% HR	UNE-EN-1604	<1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS50
Reacción al fuego	UNE-EN-13501-1	E
Deformación bajo carga y temperatura	UNE-EN-1605	DLT (2)5
Tensión de compresión (10% deformación)	UNE-EN-826	CS (10)200
Absorción de agua a largo plazo por inmersión	UNE-EN-12087	WL (T)2
Absorción de agua a largo plazo por difusión	UNE-EN-12088	WD (V)5
Fluencia a compresión	EN 1606	CC (2/1,5/25)50

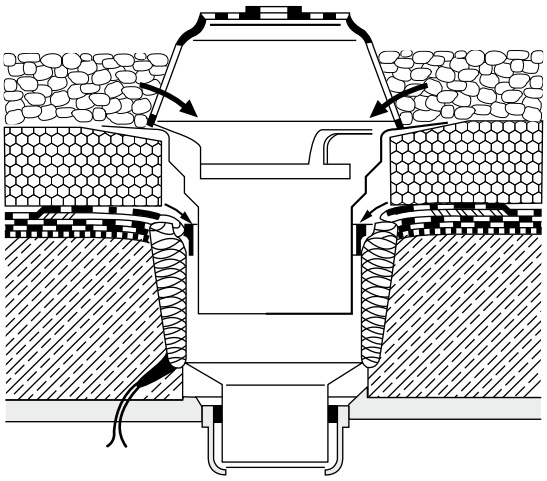
Detalles críticos del sistema en rehabilitación

A la hora de valorar la cubierta invertida con EPS-h como opción en un proyecto de rehabilitación se tendrán en cuenta los siguientes factores:

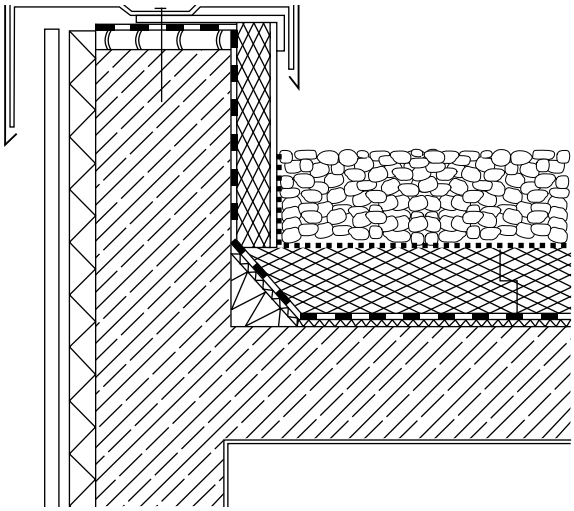
- El estado de la lámina de impermeabilización.
- Capacidad portante de la estructura original para soportar la carga adicional que supone el sistema de cubierta invertida con EPS-h.
- Los diversos aspectos de drenaje y encuentros con las heterogeneidades de la cubierta.

Las recomendaciones se centran en los siguientes aspectos:

- *Sobrecarga*. Las condiciones de carga son definitivas a la hora de diseñar la cubierta invertida con EPS-h, tanto la solución de grava como la de losas vienen determinadas por esta limitación. Una vez asegurado que la estructura puede soportar la carga adicional que supone la cubierta invertida, esta queda limitada por los siguientes valores mínimos: 80 kg/m² (0,80 kN/m²) en el caso de la cubierta acabada con grava y 25 kg/m² (0,25 kN/m²) en el caso de la cubierta de losa (prefabricada o no).
- *Lámina de impermeabilización*. Se debe analizar previamente al estado de la impermeabilización, aunque con el sistema de cubierta invertida con EPS-h se alargue la vida de la membrana hay que comprobar que no existe ningún daño anterior a la instalación del aislamiento.
- *Condensaciones*. La posible aparición de condensaciones entre la lámina de impermeabilización y el soporte (forjado o capa de formación de pendientes) queda resuelta con la cubierta invertida con EPS-h al dejar de ser la membrana la cara fría del cerramiento.
- *Drenajes y capas separadoras*. La incorporación de un sistema de cubierta invertida con EPS-h da la oportunidad de mejorar el sistema de drenaje de la cubierta, los diseños específicos de productos moldeados con esta finalidad garantizan la evacuación del agua.



- *Detalles constructivos*. La instalación de la cubierta invertida supone la suma de una serie de capas que deben ser adecuadas al resto de la cubierta. Deben cuidarse los bordes y encuentros con los diversos elementos de la cubierta.



Más información sobre la solución constructiva en la GUíA DE APLICACIONES DEL EPS, editada por ANAPE.

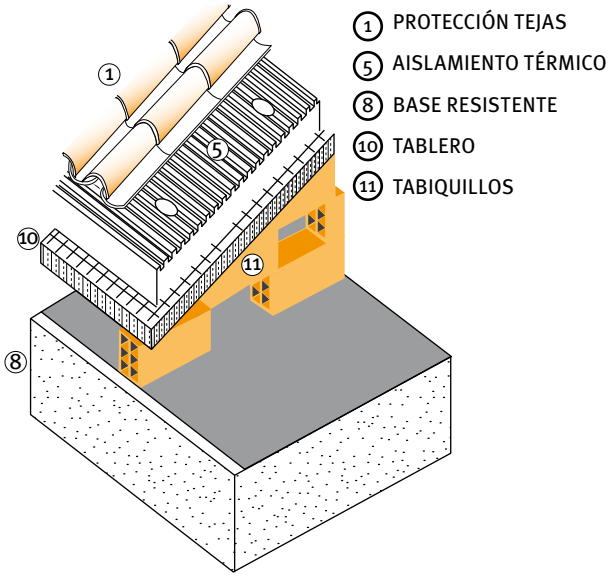
Detalles CAD disponibles en www.anape.es

Más información sobre la normativa vigente de la aplicación en la GUíA DE CONFORMIDAD CON EL CTE editada por ANAPE.

Solución 4: Aislamiento de cubierta inclinada bajo teja

Esta aplicación se recomienda especialmente en los casos en que no es accesible el bajo cubierta o bien se aprovecha la reparación del tejado para incluir aislamiento térmico al faldón que forma la cubierta.

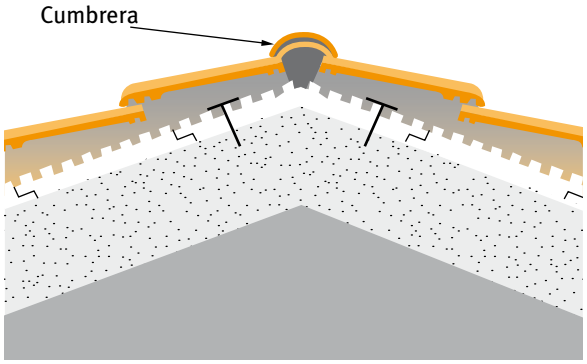
Esta operación exige que se levante el tejado y se realice una estructura que permita la fijación del aislante térmico antes de volver a colocar el nuevo tejado.



Descripción del aislamiento de cubiertas inclinadas bajo teja

Una vez levantada la teja, sobre soporte del faldón existente (forjado, panel de madera, metálico, etc.) se realiza una regularización para nivelar el faldón y se coloca una barrera de vapor para evitar condensaciones intersticiales.

La fijación de los paneles de aislamiento térmico se recomienda que sea mecánica. Los productos de EPS empleados en esta aplicación llevan un rasurado para facilitar la adherencia del mortero de fijación de la teja.



Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser al menos las siguientes:

Cubierta inclinada con EPS-h

Especificación	Norma de ensayo	Nivel Mínimoo
Tolerancia en largo	UNE-EN-822	L1
Tolerancia en ancho	UNE-EN-822	W1
Tolerancia en espesor	UNE-EN-823	T1
Rectangularidad	UNE-EN-824	S1
Planimetría	UNE-EN-825	P3
Estabilidad dimensional en condiciones normales	UNE-EN-1603	DS (N)5
Estabilidad en condiciones específicas 48h 23ºC 90% HR	UNE-EN-1604	<1%
Resistencia a la flexión	UNE-EN-12089	BS200
Reacción al fuego	UNE-EN-13501-1	E
Tensión de compresión (10% deformación)	UNE-EN-826	CS (10)150

En caso de que la cubierta sea ventilada se debe colocar una estructura de madera que garantice la cámara de aire.

En caso de que se emplee una lámina bajo cobertura (propio en zonas de montaña), esta debe colocarse sobre el aislamiento y bajo el enrastrelado. Su misión es proteger el bajo cubierta de la penetración de nieve derretida, asegurando la recogida de ese agua y su conducción al canalón para garantizar la evacuación. Es una cobertura en reserva en caso de rotula o levantamiento de la cobertura (teja o pizarra).

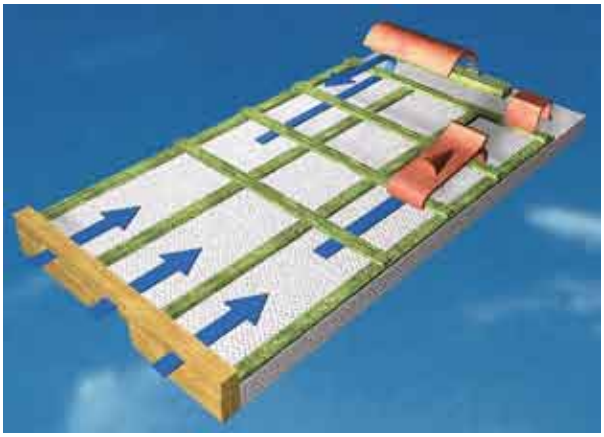
Detalles críticos del sistema en rehabilitación

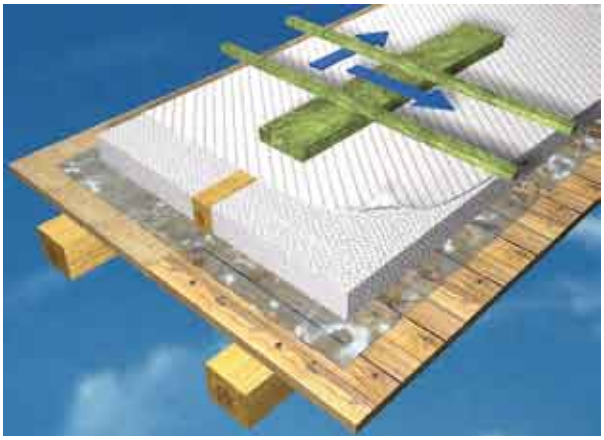
- Debe *asegurarse la ventilación* de la cubierta para evitar la formación de condensaciones intersticiales (además de colocar la barrera de control de vapor).
- El aumento del aislamiento de la cubierta requiere medios añadidos de ventilación.
- Se debe asegurar el sellado en todos los encuentros de la nueva cubierta con los elementos que se encuentran en ella (chimeneas, ventanas, mansardas, etc.).
- En el proyecto debe tenerse en cuenta el cambio de dimensión de la cubierta (aumenta el espesor) y se deben adaptar los remates del faldón donde se requiera.

Más información sobre la solución constructiva en la GUÍA DE APLICACIONES DEL EPS, editada por ANAPE.

Detalles CAD disponibles en www.anape.es

Más información sobre la normativa vigente de la aplicación en la GUÍA DE CONFORMIDAD CON EL CTE editada por ANAPE.



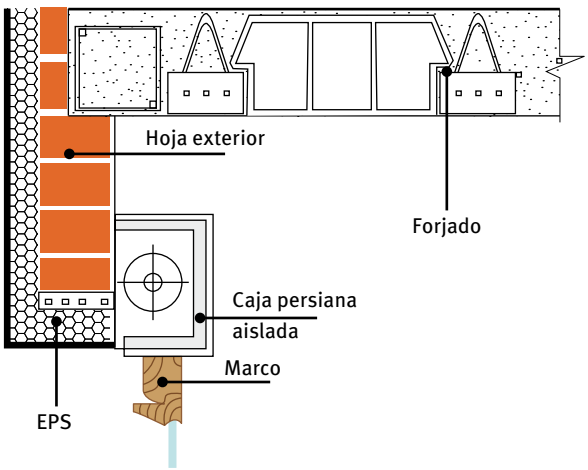


9 Recomendaciones para el proyecto y la ejecución

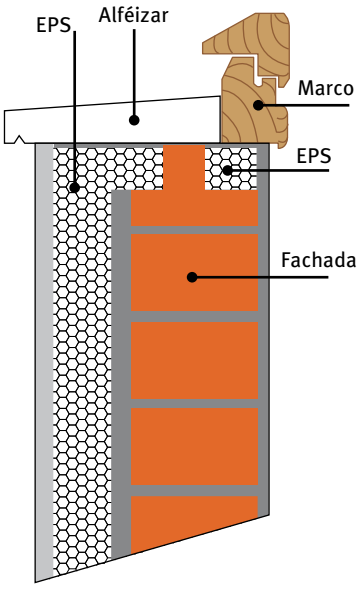
A continuación se detallan, en los casos habituales donde se contemplan puentes térmicos, las recomendaciones a tener en cuenta a la hora de realizar el proyecto de rehabilitación en los casos analizados.

Aislamiento de fachadas por el exterior en muros de una hoja

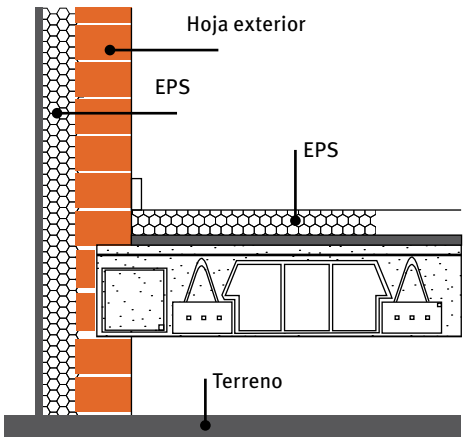
Detalle 1: Se recomienda que el encuentro de la fachada con el dintel de la ventana se remate por la parte inferior para evitar el puente térmico, llegando hasta el marco de la ventana.



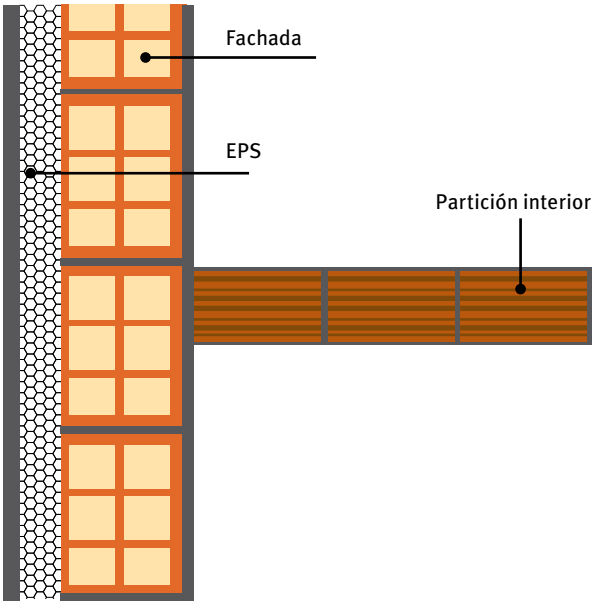
Detalle 2: Se recomienda que en el encuentro de la fachada con el alféizar de la ventana se incluya aislamiento bajo éste y detrás del mismo por la parte interior.



Detalle 3: Para evitar el puente térmico del primer forjado se recomienda añadir aislamiento perimetral y aislar el suelo por el interior.

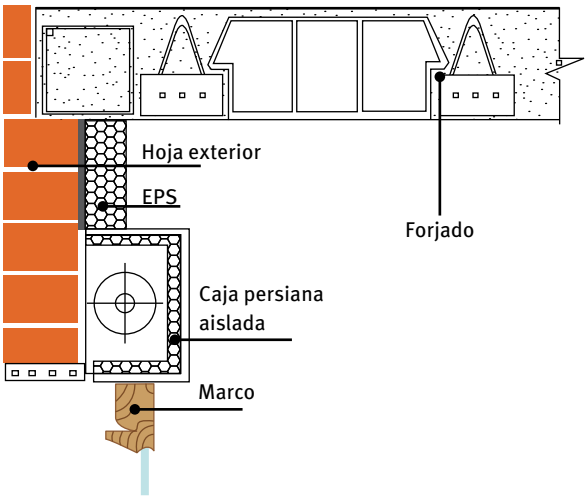


Detalle 4: El sistema asegura la rotura del puente térmico de medianeras.

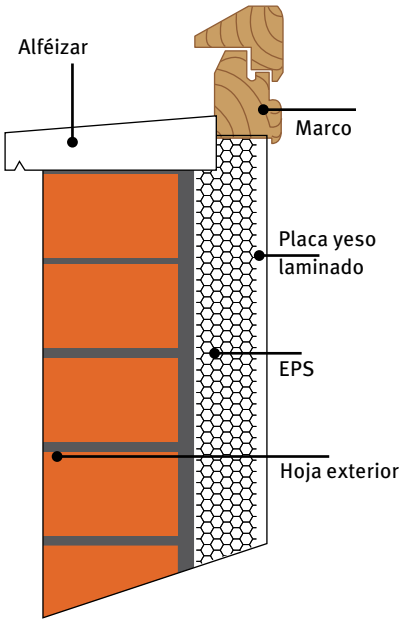


Aislamiento de fachadas por el interior en muros de una hoja

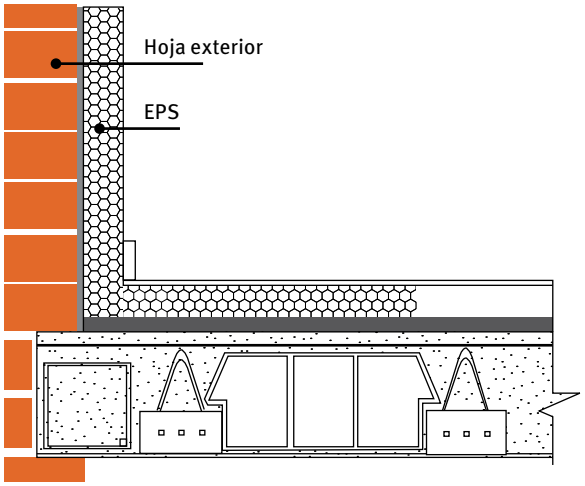
Detalle 1: Se recomienda mantener la continuidad del aislamiento entre la fachada y el dintel de la ventana para evitar el puente térmico.



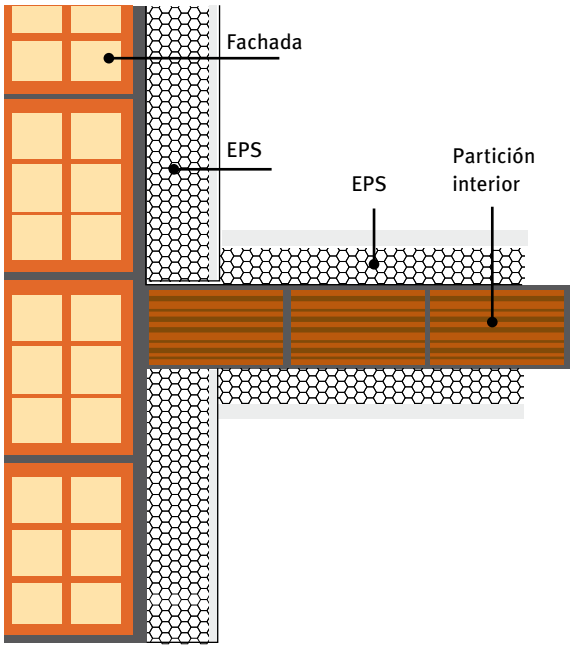
Detalle 2: Se recomienda mantener la continuidad del aislamiento entre la fachada y el alfeizar de la ventana, llegando a rematar en el marco de la misma, para evitar este puente térmico.



Detalle 3: Se recomienda colocar aislante bajo pavimento y rematar en el aislamiento de la fachada para evitar el puente térmico.

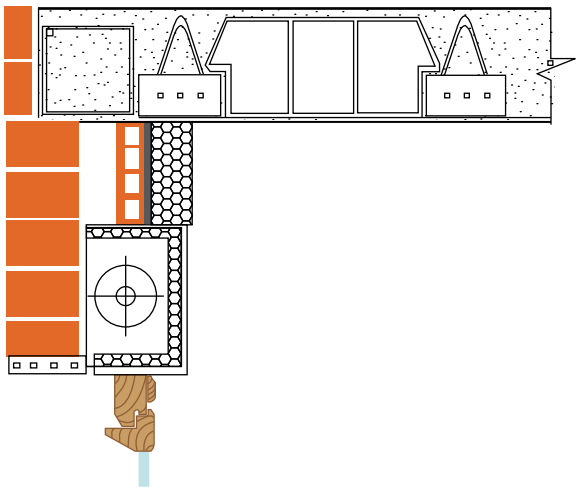


Detalle 4: Las medianeras entre viviendas deben mantener aislada una superficie de un metro desde la fachada para evitar este puente térmico.

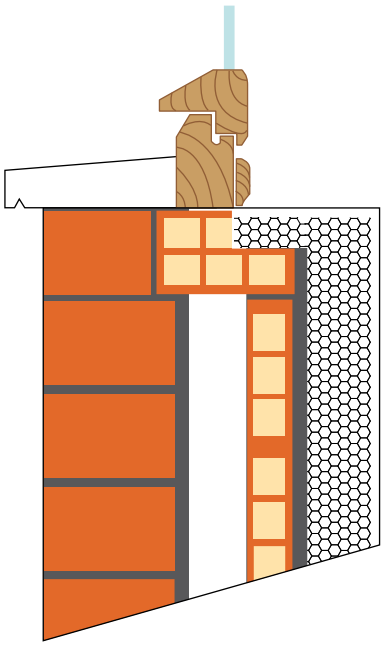


Aislamiento de fachadas por el interior en muros de doble hoja

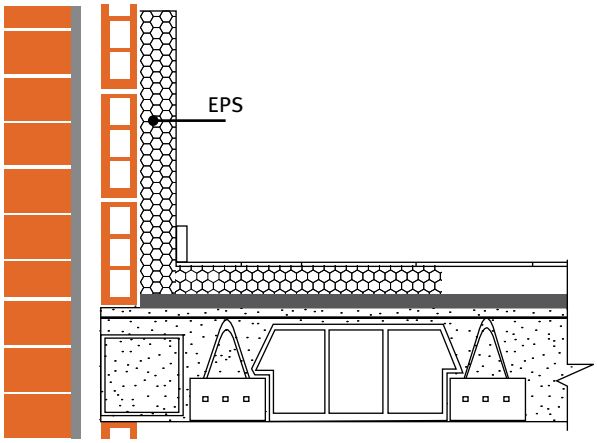
Detalle 1: Se recomienda que el encuentro de la fachada con el dintel se remate en la zona inferior hasta llegar al marco de la ventana.



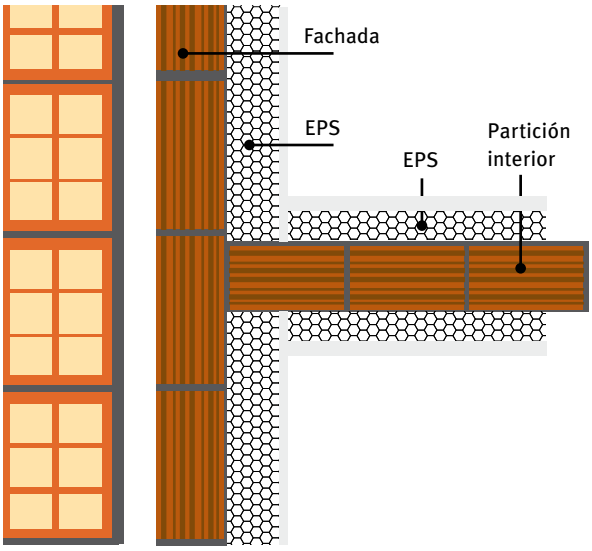
Detalle 2: Se recomienda incluir aislamiento sobre la hoja interior a la altura del alféizar hasta encontrarse con el marco de la ventana.



Detalle 3: Se recomienda colocar aislante bajo pavimento y rematar en el aislamiento de la fachada para evitar el puente térmico.



Detalle 4: Las medianeras entre viviendas deben mantener aislada una superficie de un metro desde la fachada para evitar este puente térmico.



10 Casos prácticos

A continuación se recogen varios casos de ejemplos de edificios en los que se proyecta la rehabilitación de la envolvente térmica (fachadas y cubiertas). El objetivo de estos casos prácticos es mostrar el ahorro de energía que supone este tipo de intervenciones en los edificios existentes.

El cálculo de la reducción de la demanda de acondicionamiento térmico del edificio (calefacción y refrigeración) se ha realizado con el programa LIDER (programa de cálculo del Código Técnico de la Edificación) en su primera versión.

Los resultados en términos de ahorro energético (kWh/m²) se puede traducir en términos económicos y de reducción de emisiones de CO_2.

Descripción del edificio objeto de cálculo

El edificio analizado es un bloque (PB+3) de viviendas entre medianeras y tiene una orientación de 45° con el Norte.

La superficie construida del edificio es de 676 m², con una superficie en cubierta de 169 m². Tiene una altura de 12 m, un frente de fachada de 13 m y un ancho de medianeras de 13 m, por tanto, la superficie de fachada es de 312 m² (sin descontar huecos).

Se han analizado dos edificios, uno con cubierta plana y otro con cubierta de teja.

Se han evaluado cinco zonas climáticas:

A3 Almería	B4 Alicante	C2 Barcelona
D3 Madrid	E1 Soria	

NOTA: En todos los casos el aislamiento térmico tiene una conductividad térmica de diseño de 0,038 W/m·K.

Se han analizado, desde el punto de vista energético, económico y medioambiental, la rehabilitación (introduciendo aislamiento EPS) de fachadas y cubierta de un mismo edificio, situado en las 5 zonas climatológicas de invierno ya citadas y con las siguientes soluciones constructivas:

- Edificio con cubierta plana:
  - Fachada de doble hoja sin aislamiento.
  - Fachada de una hoja sin aislamiento.
- Edificio con cubierta inclinada:
  - Fachada de doble hoja sin aislamiento.
  - Fachada de una hoja sin aislamiento.

Por tanto, se han estudiado 10 casos posibles de rehabilitación:

Caso 1: Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el exterior.

Caso 2: Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el interior.

Caso 3: Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de cubierta.

Caso 4: Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el exterior + aislamiento de cubierta.

Caso 5: Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el interior + aislamiento de cubierta.

Caso 6: Edificio con cubierta inclinada + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el exterior.

Caso 7: Edificio con cubierta inclinada + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el interior.

Caso 8: Edificio con cubierta inclinada + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de cubierta.

Caso 9: Edificio con cubierta inclinada + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el exterior + aislamiento de cubierta.

Caso 10: Edificio con cubierta inclinada + fachada de doble hoja sin aislamiento: aislamiento de fachada por el interior + aislamiento de cubierta.

Análisis energético

El análisis energético de los casos estudiados se ha realizado mediante el programa LIDER V.1, estudiando la demanda en calefacción y refrigeración del edificio sin rehabilitar y del edificio rehabilitado, lo que da lugar a una reducción en % de las demandas y una misma reducción en % de los consumos energéticos en calefacción y refrigeración, debido a la introducción de aislamiento en los diferentes casos.

Los niveles de aislamiento para este tipo de aislante EPS han sido determinados mediante el programa LIDER, cumpliendo los valores de transmitancia límite establecidos por el HE.1 del CTE para cada zona climatológica, así:

..."La demanda energética será inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica, sean los valores límite establecidos en la tabla siguiente" (sólo se indica los correspondientes a las fachadas):

Transmitancia límite U_{MLim} según la zona climática (W/m²·K)

	A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Muros (Fachadas)	0,94	0,94	0,82	0,82	0,73	0,73	0,73	0,73	0,66	0,66	0,66	0,57
Cubiertas	0,50	0,50	0,45	0,45	0,41	0,41	0,41	0,41	0,38	0,38	0,38	0,35

Asimismo, para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la siguiente tabla (sólo se indica los correspondientes a las fachadas):

Transmitancia térmica máxima de cerramientos y participaciones interiores de la envolvente térmica U (W/m²·K)

	Zonas A	Zonas B	Zonas C	Zonas D	Zonas E
Muros (Fachadas)	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46

NOTA: Este documento no está en su versión definitiva y, por ello, puede sufrir modificaciones. La información que se indica a continuación se encuentra en proceso de revisión.

Caso del edificio de cubierta plana

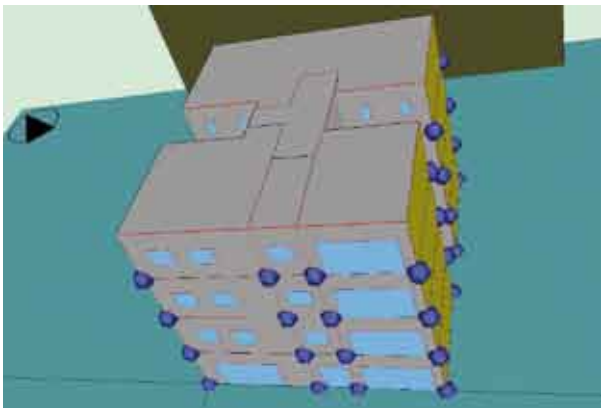


Imagen de LIDER

Edificio de partida

En la definición del edificio de partida no se ha considerado la existencia del aislamiento y se han establecido los siguientes elementos constructivos:

Muros de fachada (Fachada de doble hoja)

Sin aislamiento térmico (Edificio de partida)	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Mortero de cemento	0,02	0,55	0,03
1/2 pie ladrillo perforado métrico o catalán	0,13	0,69	0,18
Mortero de cemento	0,01	0,55	0,01
Cámara de aire vertical sin ventilar	0,02		0,17
Ladrillo hueco sencillo	0,04	0,44	0,09
Enlucido de yeso	0,01	0,57	0,01
Resistencia térmica superficial			0,17
		R total	**0,68**
		U (W/m²·K)	**1,45**

Cubierta plana transitable

Sin aislamiento térmico (Edificio de partida)	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Plaqueta o baldosa cerámica	0,030	1,000	0,030
Mortero de cemento	0,050	0,550	0,091
Asfalto	0,010	0,700	0,014
Mortero de cemento	0,030	0,550	0,055
Forjado unidireccional de (hormigón)	0,300	1,429	0,210
Enlucido de yeso	0,010	0,570	0,018
Resistencia térmica superficial			0,170
		R total	**0,58**
		U (W/m²·K)	**1,70**

Demanda de calefacción y refrigeración (kWh/m²)

En las diversas zonas climáticas la demanda anual de calefacción y refrigeración que se obtiene para el caso de la fachada de doble hoja es:

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-81,77	-98,75	-168,23	-218,90	-318,14
Demanda de refrigeración	50,70	45,51	21,09	31,61	8,31

Lectura del cuadro

Para una vivienda de 100 m² situada en este edificio, si estuviera ubicado en Madrid, la demanda de calefacción anual sería 100 x 218,90 = 21.890 kWh y la demanda de refrigeración de 100 x 31,61 = 3.161 kWh.

Valoración económica

- Si se considera que la demanda es 100% eléctrica y a un precio de 0,1 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,1 x (21.890 + 3.161) = 2.189 + 316 = 2.505 €/año.
- Si se considera que la demanda es 100% de gas natural y a un precio de 0,035 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,035 x (21.890 + 3.161) = 711 + 111 = 877 €/año.

Valoración medioambiental (emisiones CO_2)

- Si se considera que la demanda es 100% eléctrica y un valor de conversión de 0,486 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,486 x (21.890 + 3.161) = 10.639 + 1.536 = 12.175 kg CO_2/año = 12,17 t CO_2/año.
- Si se considera que la demanda es 100% de gas natural y un valor de conversión de 0,2 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO_2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,2 x (21.890 + 3.161) = 4.378 + 632 = 5.010 kg CO_2/año = 5 t CO_2/año.

Soluciones de rehabilitación

Una vez se ha evaluado el edificio origen, podemos establecer diversas hipótesis de rehabilitación térmica de la fachada y la cubierta plana conforme a los criterios establecidos en la primera parte de esta guía.

Valoraremos dos casos en el tipo de fachada, en función de que ésta sea de doble hoja (con cámara de aire) o de una sola hoja.

En el análisis económico y de rentabilidad de las soluciones se tendrá en cuenta el sobrecoste de incluir el aislamiento térmico (materiales y mano de obra) y su repercusión en la vivienda objeto de análisis.

Fachada de doble hoja (con cámara de aire)

Los niveles de aislamiento para este tipo de aislante EPS han sido determinados mediante el programa LIDER, cumpliendo los valores de transmitancia límite establecidos por el HE.1 del CTE para cada zona climatológica, así:

Rehabilitación de la fachada de doble hoja sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K
Resistencia mortero: 0,036 m²·K/W

	U (CTE) (W/m²·K)	R (CTE) (m²·K/W)	Diferencia	Espesor necesario (m)	Espesor A.T.
A	0,94	1,06	0,37	0,013	**0,020**
B	0,82	1,21	0,53	0,019	**0,020**
C	0,73	1,36	0,68	0,024	**0,030**
D	0,66	1,51	0,82	0,030	**0,030**
E	0,57	1,75	1,06	0,039	**0,040**

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 80 €/m²
Superficie de fachada del edificio ejemplo: 240 m²
Coste de la solución constructiva: 19.200 €
Coste del aislamiento (25%): 4.800 €

Rehabilitación de la fachada de doble hoja con aislamiento por el interior con placa de yeso laminado (PYL)

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K
R (PYL) Placa de Yeso Laminado: 0,052 m²·K/W

	U (CTE) (W/m²·K)	R (CTE) (m²·K/W)	Diferencia	Espesor necesario (m)	Espesor A.T.
A	0,94	1,06	0,37	0,012	**0,02**
B	0,82	1,21	0,53	0,018	**0,02**
C	0,73	1,39	0,68	0,024	**0,03**
D	0,66	1,51	0,82	0,029	**0,03**
E	0,57	1,75	1,06	0,038	**0,04**

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 50 €/m²
Superficie de fachada del edificio ejemplo: 240 m²
Coste de la solución constructiva: 12.000 €
Coste del aislamiento (50%): 6.000 €

NOTA: Para la mayoría de las zonas climáticas se han obtenidos espesores mínimos inferiores a los recomendados para el sistema; 4 cm es el espesor mínimo recomendado por razones de resistencia mecánica y estabilidad del sistema constructivo.

Cubierta

Rehabilitación de la cubierta con el sistema de cubierta invertida con EPS-h

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K Resistencia mortero: 0,036 m²·K/W	U (CTE)	R (CTE)	Diferencia	Espesor necesario	Espesor A.T.
A	0,50	2,00	1,41	0,052	**0,060**
B	0,45	2,22	1,63	0,061	**0,070**
C	0,41	2,44	1,85	0,069	**0,070**
D	0,38	2,63	2,04	0,076	**0,080**
E	0,35	2,86	2,26	0,085	**0,090**

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 60 €/m²
Superficie de cubierta del edificio ejemplo: 100 m²
Coste de la solución constructiva: 6.000 €
Coste del aislamiento (25%): 1.500 €

A continuación se evalúan las nuevas demandas de calefacción y refrigeración anual del edificio rehabilitado. Se valoran cada una de las intervenciones por separado y combinadas.

Caso 1. Edificio con cubierta plana + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-34,07 (-81,77)	-43,34 (-98,75)	-83,80 (-168,23)	-122,33 (-218,90)	-188,18 (-318,14)
Demanda de refrigeración	47,39 (50,70)	43,42 (45,51)	23,88 (21,09)	32,25 (31,61)	11,46 (8,31)

Lectura del cuadro

Para una vivienda de 100 m² situada en este edificio, si estuviera ubicado en Madrid, la demanda de calefacción anual sería 100 x 122,33 = 12.233 kWh y la demanda de refrigeración de 100 x 32,25 = 3.225 kWh.

Es decir, la demanda energética se vería reducida en un 38%

Valoración económica

- Si se considera que la demanda es 100% eléctrica y a un precio de 0,1 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,1 x (12.233 + 3.225) = 1.223 + 322 = 1.545 €/año, ahorro de un 38%, equivalente a 960 €/año.
- Considerando que la demanda es 100% de gas natural y a un precio de 0,035 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,035 x (12.233 + 3.225) = 428 + 113 = 541 €/año, ahorro de un 38%, equivalente a 336 €/año.

Valoración medioambiental (emisiones CO_2)

- Considerando que la demanda es 100% eléctrica y un valor de conversión de 0,486 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO_2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,486 x (12.233 + 3.225) = 5.945 + 1.567 = 7.513 kg CO_2/año = 7,51 t CO_2/año, ahorro de un 38%, equivalente a 4,66 t CO_2/año.
- Considerando que la demanda es 100% de gas natural y un valor de conversión de 0,2 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO_2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,2 x (12.233 + 3.225) = 2.447 + 645 = 3.092 kg CO_2/año = 3 t CO_2/año, ahorro de un 38%, equivalente a 2 t CO_2/año.

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	19.200 €	4.800 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		960 €
Retorno de la inversión (años)		5
Ahorro energético anual (100% gas natural)		336 €
Retorno de la inversión (años)		14
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		648 €
Retorno de la inversión (años)		7
Coste del aislamiento (25% de la solución)	4.800 €	1.200 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		960 €
Retorno de la inversión (años)		1,25
Ahorro energético anual (100% gas natural)		336 €
Retorno de la inversión (años)		3,57
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		648 €
Retorno de la inversión (años)		1,85

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada por el exterior** la **recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 5 y 14 años**, en función del tipo de energía consumida predominante.

Si la intervención en fachada venía justificada por otra razón (mantenimiento, seguridad, limpieza, etc.), el **sobrecoste de incluir el aislamiento** bajo el revoco se **recupera entre 1 y 4 años**, en función del tipo de energía consumida predominante.

Caso 2. Edificio con cubierta plana + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento por el interior con acabado en placa yeso laminado PYL

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-36,06 (-81,77)	-46,28 (-98,75)	-92,57 (-168,23)	-132,44 (-218,90)	-207,79 (-318,14)
Demanda de refrigeración	47,84 (50,70)	43,94 (45,51)	23,72 (21,09)	32,35 (31,61)	10,98 (8,31)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid.

Ahorro de energía: 34%	100% electricidad		100% gas natural	
	Coste	Ahorro	Coste	Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.647	857	576	300
Valoración medioambiental (T CO_2/año)	8	4,17	3,29	1,71

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	12.000 €	3.000 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		857 €
Retorno de la inversión (años)		3,5
Ahorro energético anual (100% gas natural)		300 €
Retorno de la inversión (años)		10
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		579 €
Retorno de la inversión (años)		5,2
Coste del aislamiento (50% de la solución)	6.000 €	1.500 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		857 €
Retorno de la inversión (años)		1,75
Ahorro energético anual (100% gas natural)		300 €
Retorno de la inversión (años)		5
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		579 €
Retorno de la inversión (años)		2,6

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada por el interior la recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 3 y 10 años**, en función del tipo de energía consumida predominante.

Si la intervención en fachada venía justificada por otra razón (cambio de ventanas, solados, particiones, etc.), el **sobrecoste de incluir el aislamiento** en el trasdosado interior de la fachada **se recupera entre 1 y 5 años**, en función del tipo de energía consumida predominante.

Caso 3. Edificio con cubierta plana + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento de cubierta plana invertida con EPSh

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-78,65 (-81,77)	-94,98 (-98,75)	-162,07 (-168,23)	-210,66 (-218,90)	-284,85 (-318,14)
Demanda de refrigeración	49,80 (50,70)	44,69 (45,51)	20,88 (21,09)	31,10 (31,61)	8,44 (8,31)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 3%	100% electricidad		100% gas natural	
	Coste	Ahorro	Coste	Ahorro
Valoración económica (€/año)	2.417	88	846	31
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	11,74	0,43	4,83	0,17

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	6.000 €	1.500 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		88 €
Retorno de la inversión (años)		17
Ahorro energético anual (100% gas natural)		31 €
Retorno de la inversión (años)		48
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		60 €
Retorno de la inversión (años)		25
Coste del aislamiento (25% de la solución)	1.500 €	375 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		88 €
Retorno de la inversión (años)		4,2
Ahorro energético anual (100% gas natural)		31 €

(continuación)

	Edificio	Vivienda
Retorno de la inversión (años)		12
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		60 €
Retorno de la inversión (años)		6,3

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la cubierta la recuperan** los propietarios de las viviendas **en muchos años.**

Si cambia la proporción entre superficie de cubierta/superficie de fachada de 1:4, como es el caso del ejemplo, a 1:2 ó 1:1 (caso de **la mayoría de edificios, de dos o tres plantas**) el tiempo de recuperación de la inversión se reduce a la mitad o la tercera parte, situándose en valores **entre los 4 y 12 años**.

En la mayoría de los casos, la intervención en cubierta tiene otra justificación distinta al ahorro de energía (reparar la impermeabilización). En este caso, el **sobrecoste de incluir el aislamiento** sobre la impermeabilización **se recupera entre 4 y 12 años** en los grandes edificios de varias alturas y **entre 1 y 3 años en los edificios de 2 ó 3 plantas.**

Caso 4. Edificio con cubierta plana + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) + Aislamiento de cubierta plana invertida con EPSh

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-29,58 (-81,77)	-37,90 (-98,75)	-74,36 (-168,23)	-110,13 (-218,90)	-170,68 (-318,14)
Demanda de refrigeración	46,22 (50,70)	42,46 (45,51)	23,89 (21,09)	31,87 (31,61)	11,81 (8,31)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 43%	100% electricidad		100% gas natural	
	Coste	Ahorro	Coste	Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.420	1.085	497	380
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	6,90	5,27	2,83	2,17

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	25.200 €	6.300 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.085 €
Retorno de la inversión (años)		5,81
Ahorro energético anual (100% gas natural)		380 €
Retorno de la inversión (años)		16,58
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		733 €
Retorno de la inversión (años)		8,60
Coste del aislamiento	6.300 €	1.575 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.085 €
Retorno de la inversión (años)		1,45
Ahorro energético anual (100% gas natural)		380 €
Retorno de la inversión (años)		4,14
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		733 €
Retorno de la inversión (años)		2,15

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada con aislamiento por el exterior y la cubierta la recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 5 y 16 años.**

Considerando otras razones para realizar la intervención tanto en fachada como en cubierta, el **sobrecoste de incluir el aislamiento** sobre la impermeabilización en la cubierta y bajo el revoco en la fachada **se recupera entre 1 y 4 años.**

Caso 5. Edificio con cubierta plana + fachada de doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento por el interior con acabado en placa yeso laminado PYL + Aislamiento de cubierta plana invertida con EPSh

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-31,55 (-81,77)	-40,50 (-98,75)	-78,73 (-168,23)	-114,72 (-218,90)	-176,76 (-318,14)
Demanda de refrigeración	46,70 (50,70)	42,98 (45,51)	24,22 (21,09)	32,37 (31,61)	12,21 (8,31)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 41%	100% electricidad Coste	100% electricidad Ahorro	100% gas natural Coste	100% gas natural Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.471	1.034	515	362
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	7,15	5	2,94	2

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	18.000 €	4.500 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.034 €
Retorno de la inversión (años)		4,35
Ahorro energético anual (100% gas natural)		362 €
Retorno de la inversión (años)		12,43
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		698 €
Retorno de la inversión (años)		6,45
Coste del aislamiento	7.500 €	1.875 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.034 €
Retorno de la inversión (años)		1,81
Ahorro energético anual (100% gas natural)		362 €
Retorno de la inversión (años)		5,18
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		698 €
Retorno de la inversión (años)		2,69

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada con aislamiento por el interior y la cubierta invertida la recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 4 y 12 años.**

Considerando otras razones para realizar la intervención tanto en fachada como en cubierta, el **sobre-coste de incluir el aislamiento** sobre la impermeabilización en la cubierta y en el trasdosado interior de la fachada se **recupera entre 1 y 5 años.**

Caso del edificio de cubierta inclinada

Rehabilitación en cubierta inclinada

Edificio de partida

En la definición del edificio de partida no se ha considerado la existencia del aislamiento y se han establecido los siguientes **elementos constructivos:**

Muros de fachada (Fachada de doble hoja)

Sin aislamiento térmico (Edificio de partida)	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Mortero de cemento	0,02	0,55	0,03
1/2 pie ladrillo perforado métrico o catalán	0,13	0,69	0,18
Mortero de cemento	0,01	0,55	0,01
Cámara de aire vertical sin ventilar	0,02		0,17
Ladrillo hueco sencillo	0,04	0,44	0,09
Enlucido de yeso	0,01	0,57	0,01
Resistencia térmica superficial			0,17
		R total	**0,68**
		U (W/m²·K)	**1,45**

Cubierta inclinada

Sin aislamiento térmico (Edificio de partida) Cerramiento del espacio no habitable en contacto con el ambiente exterior	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Teja cerámica	0,01	1,00	0,010
Mortero de cemento	0,02	0,55	0,036
Bardo	0,03	0,22	0,135
Resistencia térmica superficial			0,140
		Rt	**0,32**
		U_{ue}	**3,11**

Cerramiento del espacio habitable en contacto con el no habitable	Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Plaqueta cerámica	0,01	2,30	0,004
Mortero de cemento	0,04	0,55	0,073
Forjado unidireccional de hormigón	0,30	1,42	0,210
Enlucido de yeso	0,01	0,57	0,018
Resistencia térmica superficial			0,140
		Rt total	**0,44**
		Uiu	**2,25**
Resistencia térmica superficial (para calculo Up)			0,20
		Rt total	**0,50**
		Up	**1,98**
Que	o	Hue	633,40
Qiu	o	Hiu	384,78

(continuación)

Cerramiento del espacio habitable en contacto con el no habitable			Espesor (m)	Conductividad (W/m·K)	R (m²·K/W)
Qiu	0	Hiu		384,78	
Aue	203,64 m²	**b**		**0,62**	
Aiu	171,06 m²	Aiu/Aue		0,84	
		$U_{cubierta}$	**1,23 W/m²·K**		
		$R_{cubierta}$	**0,81 m²·K/W**		

Demanda de calefacción y refrigeración (kWh/m²)

En las diversas zonas climáticas la demanda anual de calefacción y refrigeración que se obtiene para el caso de la fachada de doble hoja es:

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-82,05	-99,19	-169,67	-221,26	-322,24
Demanda de refrigeración	51,98	46,78	21,88	32,71	8,85

Lectura del cuadro

Para una vivienda de 100 m² situada en este edificio, si estuviera ubicado en Madrid, la demanda de calefacción anual sería 100 x 221,26 = 22.126 kWh y la demanda de refrigeración de 100 x 32,71 = 3.271 kWh.

Valoración económica

- Si se considera que la demanda es 100% eléctrica y a un precio de 0,1 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,1 x (22.126 + 3.271) = 2.212 + 327 = 2.539 €/año.
- Si se considera que la demanda es 100% de gas natural y a un precio de 0,035 €/kWh, el valor de la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,035 x (22.126 + 3.271) = 774 + 114 = 889 €/año.

Valoración medioambiental (emisiones CO_2)

- Si se considera que la demanda es 100% eléctrica y un valor de conversión de 0,486 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,486 x (22.126 + 3.271) = 10.753 + 1.590 = 12.343 kg CO_2/año = 12,34 t CO_2/año.
- Si se considera que la demanda es 100% de gas natural y un valor de conversión de 0,2 kg CO_2/kWh, el valor de las emisiones de CO_2 equivalente debido a la demanda energética (calefacción y refrigeración) de esta vivienda sería de 0,2 x (22.126 + 3.271) = 4.425 + 654 = 5.079 kg CO_2/año = 5 t CO_2/año.

Soluciones de rehabilitación

Una vez se ha evaluado el edificio origen, podemos establecer diversas hipótesis de rehabilitación térmica de la fachada y la cubierta inclinada conforme a los criterios establecidos en la primera parte de esta guía.

Valoraremos los mismos casos de fachada que en el caso de la cubierta plana y se evaluarán las combinaciones con la cubierta inclinada.

Fachada de doble hoja (con cámara de aire)

Los niveles de aislamiento para este tipo de aislante EPS han sido determinados mediante el programa LIDER, cumpliendo los valores de transmitancia límite establecidos por el HE.1 del CTE para cada zona climatológica, así:

Rahabilitación de la fachada de doble hoja con aislamiento térmico por el exterior (SATE)

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K
Resistencia mortero: 0,036 m²·K/W

	U (CTE) (W/m²·K)	R (CTE) (m²·K/W)	Diferencia	Espesor necesario (m)	Espesor A.T.
A	0,94	1,06	0,37	0,013	**0,020**
B	0,82	1,21	0,53	0,019	**0,020**
C	0,73	1,36	0,68	0,024	**0,030**
D	0,66	1,51	0,82	0,030	**0,030**
E	0,57	1,75	1,06	0,039	**0,040**

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 80 €/m²
Superficie de cubierta del edificio ejemplo: 240 m²
Coste de la solución constructiva: 19.200 €
Coste del aislamiento (25%): 4.800 €

Rahabilitación de la fachada de doble hoja con aislamiento por el interior con placa de yeso laminado (PYL)

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K
R (PYL) Placa de Yeso Laminado: 0,052 m²·K/W

	U (CTE) (W/m²·K)	R (CTE) (m²·K/W)	Diferencia	Espesor necesario (m)	Espesor A.T.
A	0,94	1,06	0,37	0,012	**0,02**
B	0,82	1,21	0,53	0,018	**0,02**
C	0,73	1,39	0,68	0,024	**0,03**
D	0,66	1,51	0,82	0,029	**0,03**
E	0,57	1,75	1,06	0,038	**0,04**

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 50 €/m²
Superficie de fachada del edificio ejemplo: 240 m²
Coste de la solución constructiva: 12.000 €
Coste del aislamiento (50%): 6.000 €

Cubierta

Rehabiliación de la cubierta con aislamiento bajo teja

Conductividad EPS: 0,038 W/m·K	U (CTE)	Uue	Rue	Diferencia	Espesor necesario	Espesor A.T.
A	0,50	0,64	1,56	1,24	0,047	**0,050**
B	0,45	0,56	1,80	1,48	0,056	**0,060**
C	0,41	0,49	2,02	1,70	0,065	**0,070**
D	0,38	0,45	2,23	1,91	0,073	**0,080**
E	0,35	0,41	2,46	2,14	0,082	**0,090**

Lectura de la tabla

Para el edificio ubicado en Madrid, la transmitancia térmica máxima de la cubierta que establece el CTE es 0,38 W/m²·K, y el límite de U con el exterior es 0,45 W/m²·K. La Resistencia Térmica equivalente es 1/0,45 = 2,23 m²·K/W y como la cubierta del edificio de partida tenía una resistencia térmica de 0,32 m²·K/W, la diferencia es 1,91 m²·K/W. Para un sistema de aislamiento de EPS bajo teja de conductividad térmica 0,038 W/m·K, el espesor mínimo necesario sería de 73 mm (0,073 m), que corresponde con un espesor comercial de 80 mm (0,080 m).

Análisis económico

Precio unitario de la solución constructiva: 90 €/m²
Superficie de fachada del edificio ejemplo: 240 m²
Coste de la solución constructiva: 21.600 €
Coste del aislamiento (25%): 5.400 €

A continuación se evalúan las nuevas demandas de calefacción y refrigeración anual del edificio rehabilitado. Se valoran cada una de las intervenciones por separado y combinadas.

Caso 6. Edificio con cubierta inclinada + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE)

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-31,61 (-82,05)	-40,40 (-99,19)	-79,31 (-169,67)	-126,24 (-221,16)	-182,85 (-322,24)
Demanda de refrigeración	48,34 (51,98)	44,48 (46,78)	24,90 (21,88)	33,66 (32,71)	12,47 (8,85)

NOTA: Para la mayoría de las zonas climáticas se han obtenidos espesores mínimos inferiores a los recomendados para el sistema; 4 cm es el espesor mínimo recomendado por razones de resistencia mecánica y estabilidad del sistema constructivo.

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 37%	100% electricidad Coste	100% electricidad Ahorro	100% gas natural Coste	100% gas natural Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.599	940	560	329
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	7,77	4,57	3,20	1,88

Caso 7. Edificio con cubierta inclinada + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento por el interior con acabado en placa yeso laminado PYL

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-34,01 (-82,05)	-43,65 (-99,19)	-84,82 (-169,67)	-123,61 (-221,16)	-190,73 (-322,24)
Demanda de refrigeración	48,94 (51,98)	45,14 (46,78)	25,28 (21,88)	34,03 (32,71)	12,88 (8,85)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 38%	100% electricidad Coste	100% electricidad Ahorro	100% gas natural Coste	100% gas natural Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.577	962	552	337
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	7,66	4,68	3,15	1,93

Caso 8. Edificio con cubierta inclinada + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento de cubierta inclinada bajo teja

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-79,38 (-82,05)	-95,76 (-99,19)	-163,90 (-169,67)	-213,49 (-221,16)	-310,75 (-322,24)
Demanda de refrigeración	51,39 (51,98)	46,16 (46,78)	21,59 (21,88)	32,16 (32,71)	8,52 (8,85)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 3%	100% electricidad Coste	100% electricidad Ahorro	100% gas natural Coste	100% gas natural Ahorro
Valoración económica (€/año)	2.457	82	860	29
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	11,94	0,40	4,91	0,16

Caso 9. Edificio con cubierta inclinada + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) y aislamiento de cubierta inclinada bajo teja

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-29,28 (-82,05)	-37,42 (-99,19)	-73,94 (-169,67)	-110,34 (-221,16)	-171,59 (-322,24)
Demanda de refrigeración	47,80 (51,98)	43,94 (46,78)	24,82 (21,88)	33,06 (32,71)	12,37 (8,85)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 44%	100% electricidad Coste	100% electricidad Ahorro	100% gas natural Coste	100% gas natural Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.434	1.105	502	387
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	6,97	5,37	2,87	2,21

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	40.800 €	10.200 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.105 €
Retorno de la inversión (años)		9,23
Ahorro energético anual (100% gas natural)		387 €
Retorno de la inversión (años)		26,36
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		746 €
Retorno de la inversión (años)		13,67
Coste del aislamiento	10.200 €	2.550 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.105 €
Retorno de la inversión (años)		2,31

NOTA: la influencia del aislamiento de la cubierta se concentra en la última planta . En este caso se reparte el ahorro entre todas las viviendas que forman el edificio. Tendrá más influencia cuanta mayor superficie de cubierta haya en el edificio por m² de vivienda (en este caso la relación es 1:4).

(continuación)

	Edificio	Vivienda
Ahorro energético anual (100% gas natural)		387 €
Retorno de la inversión (años)		6,59
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		746 €
Retorno de la inversión (años)		3,42

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada con aislamiento por el exterior y retejar la cubierta la recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 9 y 26 años.**

Considerando otras razones para realizar la intervención tanto en fachada como en cubierta, el **sobrecoste de incluir el aislamiento bajo el nuevo tejado** y bajo el revoco en la fachada **se recupera entre 2 y 6 años.**

Caso 10. Edificio con cubierta inclinada + fachada doble hoja sin aislamiento

Solución de rehabilitación. Aislamiento por el interior con acabado en placa yeso laminado PYL y aislamiento de cubierta inclinada bajo teja

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla de demandas de energía (entre paréntesis edificio de partida)

Zona climática	A Almería	B Alicante	C Barcelona	D Madrid	E Soria
Demanda de calefacción	-30,90 (-82,05)	-39,21 (-99,19)	-76,89 (-169,67)	-112,93 (-221,16)	-179,67 (-322,24)
Demanda de refrigeración	48,58 (51,98)	44,77 (46,78)	25,51 (21,88)	33,91 (32,71)	12,74 (8,85)

Análisis de los resultados para una vivienda de 100 m² ubicada en Madrid

Ahorro de energía promedio para todas las viviendas del edificio: 42%	100% electricidad		100% gas natural	
	Coste	Ahorro	Coste	Ahorro
Valoración económica (€/año)	1.469	1.070	514	375
Valoración medioambiental (t CO_2/año)	7,14	5,20	2,94	2,14

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

	Edificio	Vivienda
Coste de solución constructiva	33.600 €	8.400 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.070 €
Retorno de la inversión (años)		7,85
Ahorro energético anual (100% gas natural)		375 €

(continuación)

	Edificio	Vivienda
Retorno de la inversión (años)		22,40
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		723 €
Retorno de la inversión (años)		11,63
Coste del aislamiento	11.400 €	2.850 €
Ahorro energético anual (100% electricidad)		1.070 €
Retorno de la inversión (años)		2,66
Ahorro energético anual (100% gas natural)		375 €
Retorno de la inversión (años)		7,60
Ahorro energético anual (50% electricidad y 50% gas natural)		723 €
Retorno de la inversión (años)		3,94

En este ejemplo, la inversión realizada para **rehabilitar la fachada con aislamiento por el interior y renovar el tejado la recuperan** los propietarios de las viviendas **entre 7 y 22 años.**

Considerando otras razones para realizar la intervención tanto en fachada como en cubierta, el **sobrecoste de incluir el aislamiento** bajo el nuevo tejado y en el trasdosado interior de la fachada **se recupera entre 2 y 7 años.**

Conclusiones

En el caso analizado se observa que la influencia de la rehabilitación del aislamiento de la fachada es muy superior al de la cubierta. Esto es debido a que la proporción entre superficies fachada/cubierta también es elevada.

En términos generales, la reducción de la demanda energética de calefacción y refrigeración con las combinaciones de rehabilitación de fachada y cubierta supera el 40%.

Considerando que las intervenciones de rehabilitación en la envolvente vienen motivadas por otras razones distintas al ahorro de energía (seguridad, mantenimiento, estética, etc.) el retorno de la inversión que supone el sobrecoste del aislamiento se sitúa entre los 3 y 4 años, en función del sistema constructivo que se utilice.

11 Normativas y recomendaciones

La normativa básica aplicable es el Código Técnico de Edificación (CTE) en todos sus apartados.

Parte 1. Exigencias básicas.

Parte 2. Documentos Básicos de aplicación del CTE (DB-SE, DB-SI, DB-SU, DB-HE, DB-HR y DB-HS).

Se recomienda el uso de normas voluntarias de carácter nacional (UNE), europeo (EN) o internacional (ISO) en los casos de productos o aplicaciones que no estén recogidos en los Documentos Básicos del CTE.

Se recomienda el uso de Documentos de Idoneidad Técnica (DIT)o Adecuación al Uso (DAU) nacionales y europeos (DITE) así como las GUÍAS de evaluación de dichos documentos como referencias normativas para las aplicaciones no recogidas expresamente en los Documentos Básicos del CTE.

12 Bibliografía

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Guía DITE de cubierta invertida con EPS-h (EOTA).
- Guía DAU de cubierta invertida con EPS-h (ITEC).
- UNE-EN 13163: especificaciones de los productos aislantes de EPS (AENOR).
- UNE-EN 13499: Sistema de aislamiento térmico por el exterior con EPS (AENOR).
- Guía de Aplicaciones del EPS (ANAPE).
- Libro Blanco del EPS (ANAPE).

13 Anexos

Anexo I. Cuadro de características técnicas. Productos aislantes de EPS

Símbolo	Unidades	Observaciones
λ_D Conductividad Térmica Declarada Cuanto más bajo es el valor, mejores prestaciones aislantes.	W/m·K Referencia 10°C	El valor declarado de la Conductividad térmica se obtiene a partir del redondeo al alza (0,001 W/m·K) del valor estadístico que representa al 90% de los productos y al 90% del valor declarado. Por ejemplo: $\lambda_{90/90}$=0,0353 [W/m·K] implica λ_D=0,036 [W/m·K]
Espesor d_N Resistencia Térmica Declarada Cuanto más alto es este valor, mayor nivel de aislamiento.	m²·K/W $R_D = \frac{d_N}{-D}$	El valor declarado de la Resistencia térmica se obtiene a partir del redondeo a la baja (0,05 m²·K/W) del valor estadístico que representa al 90% de los productos y al 90% del valor declarado. Por ejemplo, para el caso anterior un producto de 6 cm de espesor: $R_{90/90}$=1,66 [m²·K/W] implica R_D=1,65 [m²·K/W]

Propiedad	Concepto	Símbolo	Niveles	Especificaciones	Aplicable a:	Comentarios
Dimensiones	Tolerancias en largo (Length)	L	1 2	±0,6% ó ±3 mm ±2 mm	Todos los productos según su uso	
	Tolerancias en ancho (Width)	W	1 2	±0,6% ó ±3 mm ±2 mm		
	Tolerancias en espesor (Thicknness)	T	1 2	±2 mm ±1 mm		
	Rectangularidad (Squareness)	S	1 2	5 mm/m 2 mm/m		
	Planimetría	P	1 2 3 4	30 mm 15 mm 10 mm 5 mm		

(continuación)

Propiedad	Concepto	Símbolo	Niveles	Especificaciones	Aplicable a:	Comentarios
Estabilidad	Estabilidad en condiciones normales (Dimensional Stability under constant Normal laboratory conditions)	DS(N)	5 2	Variación <0,5% Variación <0,2%	Todos los productos según su uso	Indicador de la estabilización del producto
	Estabilidad dimensional bajo temperatura (Dimensional Stability at specified Temperature)	DS(70,_)	1 2 3	Variación < 1% Variación < 2% Variación < 3%	Productos utilizados en altas temperaturas	
	Estabilidad dimensional bajo temperatura y humedad (Dimensional Stability at specified Temperature and Humidty)	DS(70,90)	1	Variación dimensiones < 1% a 70°C y 90%HR	Productos utilizados en ambientes saturados de humedad	
Compor-tamiento mecánico	Deformación bajo carga y temperatura (Deformation under compresive Load and Temperature)	DLT(1)5 DLT(2)5 DLT(3)5		Variación dimensional < 5% bajo 20 kPa durante 48 h a 80°C	Productos utilizados en cubiertas	Capacidad portante con alta temperatura
				Variación dimensional < 5% bajo 40 kPa durante 168 h a 70°C		
				Variación dimensional < 5% bajo 80 kPa durante 168 h a 60°C		
	TRacción	TR	20 - 400	El nivel indica la resistencia a tracción perpendicular a las caras expresada en kPa	Complejos de trasdosado. Núcleos para paneles sándwich	Resistencia al deslaminado
	Flexión (Bending Strength)	BS	50 - 750	El nivel indica la resistencia a la flexión expresada en kPa	Todos los productos	Indicador de la cohesión del producto
	Compresión (Compresive Stress)	CS(10)	30 - 500	El nivel indica la resistencia a com-presión para una deformación del 10% expresada en kPa	Productos para suelos y cubiertas	Capacidad para soportar cargas
	Fluencia (Compresive Creep)	CC	(i1/i2/Y)δ	El nivel indica la reducción total de espesor (%), la reducción diferida (%), el numero de años y la carga considerada (kPa)	Aislamiento de cimentaciones	Capacidad de soportar cargas elevadas de forma permanente

(continuación)

Propiedad	Concepto	Símbolo	Niveles	Especificaciones	Aplicable a:	Comentarios
Comportamiento mecánico	Compresibilidad (ComPresibility)	CP	5 4 3 2	5 mm 4 mm 3 mm 2 mm	Suelos flotantes	Reducción de espesor bajo presión de 2 kPa después de haber pasado por 50 kPa en relación al espesor inicial bajo 0,25 kPa
Comportamiento al agua	Absorción de agua a largo plazo por inmersión total (Water absorption Long Term)	WL(T)	5 3 2 1	< 5% < 3% <2% < 1%	Cubiertas invertidas. Aislamiento de muros por exterior o soleras enterrados	Capacidad de estar en contacto habitualmente con agua
	Absorción forzada de agua a largo plazo por difusión (Long term Water absorption by Diffusion)	WD(V)	15 10 5 3	< 15% < 10% < 5% < 3%	Cubiertas invertidas	Capacidad de soportar un gradiente elevado de humedad y presión de vapor
Comportamiento al vapor	Permeabilidad al vapor de agua	MU	20 a 40 30 a 70 40 a 100	El valor indica el factor de difusión del vapor	Aislamiento intermedio o interior en locales con regímenes higrotérmicos elevados	Capacidad de transpiración del aislante
Comportamiento acústico	Rigidez dinámica (Dynamic Stiffness)	SD	50 - 5	El nivel indica la rigidez del producto expresada en MN/m³	Suelos flotantes. Complejos de trasdosados	Capacidad de amortiguación acústica

Anexo II. Glosario de términos relacionados con el EPS

Aislante térmico. Elemento que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/(m·K) y una resistencia térmica mayor que 0,25 m²·K/W.

Aislante no hidrófilo. Aislante que tiene una succión o absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial menor que 1 kg/m² según ensayo UNE-EN 1609:1997 o una absorción de agua a largo plazo por inmersión total menor que el 5% según ensayo UNE-EN 12087:1997.

Clase. (UNE-EN 13163) Combinación de los dos niveles de la misma propiedad entre los que debe situarse el rendimiento, en la que los niveles proceden del valor declarado de la característica correspondiente.

Nivel. (UNE EN 13163) Valor dado que constituye el límite superior o inferior de un requisito. El nivel se obtiene a partir del valor declarado de las características correspondientes.

Plancha de poliestireno expandido. Producto aislante rígido (cortado, moldeado o procedente del moldeo en continuo) de forma y sección rectangular, siendo el espesor significativamente menor que las otras dimensiones. Las planchas pueden tener un espesor uniforme o bien estar "perfiladas" (espesor variable). Los cantos de las planchas pueden ser de varios tipos, por ejemplo: escuadrados, a media madera, machihembrados, etc.

Poliestireno expandido. Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire.

Valor térmico declarado. (UNE-EN ISO 10456) Valor esperado de una propiedad térmica de un material o producto de edificación:

- evaluado a partir de datos medidos en condiciones de referencia de temperatura y humedad;
- dado para una fracción establecida con un nivel de confianza dado;
- correspondiente a un tiempo de vida de servicio esperado razonable bajo condiciones normales.

Valor térmico de diseño. (UNE-EN ISO 10456) Valor de una propiedad térmica de un material o producto de edificación bajo condiciones específicas exteriores e interiores que pueden considerarse típicas del comportamiento de ese material o producto cuando se incorpora a un componente de edificación.

Títulos publicados de la serie
"Guías Técnicas para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios"

Guía nº 1

Soluciones de Aislamiento con
Poliestireno Expandido (EPS)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es

ISBN 978-84-96680-36-4
9 788496 680364

P.V.P.: 20 € (IVA incluido)