

2.1. Introducción

La rehabilitación de la fachada de un edificio suele asociarse a la necesidad de un “lavado de cara” de la misma por motivos estéticos.

En este capítulo se describen intervenciones con criterios de eficiencia energética por medio de aislamientos, que pueden abordarse una vez decidida esta acción y que conllevarán beneficios importantes para los usuarios a un coste reducido.

Por ello, este capítulo se ha clasificado en tres apartados conforme a la disposición del aislamiento térmico en el momento de acometer la reforma:

- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el exterior.
- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el interior.
- Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras.

Las soluciones que se recogen son las más habituales, están debidamente acreditadas y son las avaladas por ANDIMA, Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes. Esto no significa que existan otras soluciones con los materiales aquí indicados que puedan utilizarse.

2.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por el exterior

Intervenir por el exterior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

- ✿ En todos los casos, la obra de rehabilitación se ejecuta con la mínima interferencia para los usuarios del edificio.
- ✿ Instalado el aislamiento sobre las fachadas, no se reduce la superficie útil del edificio o vivienda.
- ✿ Se corrigen con toda facilidad todos los puentes térmicos, de modo que se evitan las paredes "frías", la falta de confort asociada a ellas y, sobre todo, el riesgo de formación de condensaciones superficiales e, incluso, moho. Este aspecto es especialmente importante en el caso de fachadas, pues es donde se producen casi todos los puentes térmicos: encuentros con la estructura (pilares, vigas, frentes de forjado) y formación de huecos (alféizares, mochetas, dinteles, capialzados).
- ✿ Destacar que, al aislar por el exterior, el muro soporte que forma la fachada se encuentra relativamente caliente, pues está protegido por el aislamiento y, por tanto, cualquier área donde, por el motivo que fuera, se interrumpa el aislamiento térmico, no cambia la circunstancia de que el soporte seguirá básicamente caliente, sobre todo su superficie interior que, por consiguiente, mostrará una temperatura superficial superior al punto de rocío del ambiente interior y, en definitiva, suficiente para evitar fenómenos de condensación.
- ✿ Se aprovecha toda la inercia térmica del soporte (capacidad calorífica de los materiales de construcción). Se debe tener en cuenta, por ejemplo, que un muro de medio pie (11,5 cm) de fábrica de ladrillo perforado pesa unos 180 kg/m², lo que equivale a tener una bañera de unos 36 litros de agua por m² de fachada.
- ✿ Es especialmente conveniente aislar por el exterior cuando la vivienda o edificio son de ocupación permanente. De este modo, se cuenta con la inercia térmica para estabilizar del modo más efectivo las temperaturas y conseguir una reducción adicional en el consumo de combustible para la climatización (calefacción + refrigeración) del edificio o vivienda.

- ✿ Normalmente, al ejecutarse la intervención por el exterior, afectará a la totalidad del inmueble, no sólo a una vivienda o local en particular. Por consiguiente, se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.
- ✿ En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, será muy difícil, o incluso imposible, practicar la intervención por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

Los diferentes sistemas de rehabilitación existentes requieren el asesoramiento de empresas fabricantes e instaladoras especializadas, de modo que se garantice la compatibilidad de todos los productos integrantes del sistema. A tal fin, algunos Institutos de Construcción proporcionan para tales sistemas constructivos los llamados Documentos de Idoneidad Técnica (DIT). Últimamente, dado el marco legislativo armonizado europeo, se están empezando a emitir Documentos de Idoneidad Técnica Europea (DITE).

2.2.1. Rehabilitación de fachadas con sistema de aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el exterior (SATE-ETICS)

Especialmente recomendado en los siguientes casos:

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

En todos estos casos de reparación 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 sobre coste de incluir el sistema de aislamiento queda muy reducido.

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

2.2.1.1. Descripción del sistema de aislamiento exterior bajo revoco

El sistema presenta tres grupos de materiales:

- ✿ El aislamiento, en este 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 sollicitaciones climatológicas, mecánicas, químicas, etc. Como misión secundaria, aporta 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.

El esquema básico se puede consultar en la Fig. 1.

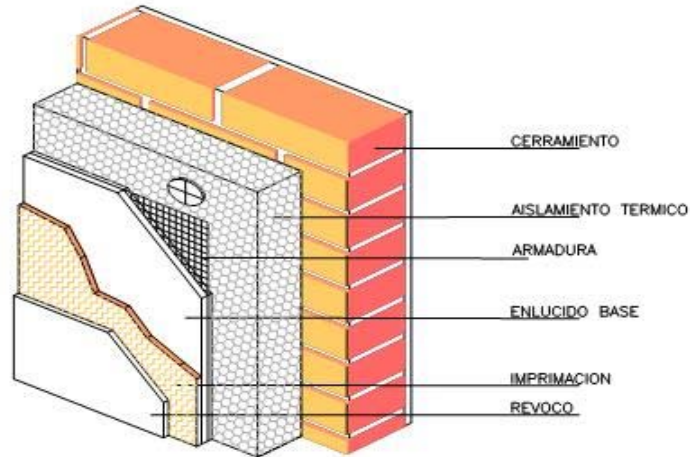


Figura 1. Esquema básico de aislamiento por el exterior.

Las especificaciones del EPS empleado en esta aplicación deben ser, al menos, las que aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1. Especificaciones mínimas del EPS para aislamiento por el exterior.

AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR BAJO REVOCO		NIVEL
Especificación	Norma de ensayo	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 23°C 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 la caras	UNE-EN-1607	TR100

2.2.1.2. Ventajas de los sistemas de aislamiento por el exterior bajo revoco

Las ventajas de estos sistemas de aislamiento son las siguientes:

- Posibilita el cambio de aspecto de la fachada del edificio "rejuveneciendo" su aspecto y contribuyendo a la mejora del entorno.
- 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 recintos ocupados.
- ✿ No reduce el espacio útil.
- ✿ Se pueden instalar grandes espesores que optimicen la intervención.
- ✿ Se mejora el aislamiento acústico del sistema de cerramiento.
- ✿ Es un sistema de construcción "seco". El proceso de instalación es rápido y sin tiempos de espera para secado de morteros o yesos.
- ✿ Es compatible incluso con muros de mala planimetría.
- ✿ Es aplicable a cualquier tipo de fachada.



2.2.1.3. Detalles críticos del sistema

En general, los detalles críticos de este sistema son los siguientes:

- ✿ 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).

En cuanto a la rehabilitación, se pueden citar los siguientes detalles críticos:

- ✿ En las fijaciones al soporte, se debe tener en 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. En caso de ser 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.
- ✿ En cuanto a las juntas de dilatación, además de las juntas propias del sistema de revestimiento (especificadas por cada fabricante), se deben respetar las juntas de dilatación estructural del edificio existente.
- ✿ Estudio en profundidad de los encuentros con las instalaciones existentes.

2.2.1.4. 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 o diez años según la ubicación del edificio.

2.2.2. Rehabilitación de fachadas por el exterior mediante la aplicación de un sistema de fachada ventilada con lana mineral (lana de vidrio/lana de roca) MW

2.2.2.1. Descripción

Este sistema consiste en la aplicación de aislamiento mediante lana mineral (lana de vidrio o lana de roca) por la parte externa del muro, y de una protección formada, normalmente, por una lámina ligera externa, separando ambos materiales por una cámara de aire.

El sistema de aislamiento por el exterior es un medio novedoso y que se incorpora cada vez con mayor frecuencia como consecuencia de sus excelentes prestaciones de ahorro energético en los periodos cálidos del año.

Está formado por un aislamiento generalmente rígido o semirrígido de lana mineral (lana de roca o lana de vidrio) fijado al muro soporte (fachada existente), y una hoja de protección (formada por planchas, bandejas, "cassettes", etc.) separada del aislamiento, formando una cámara donde circula el aire por simple convección.


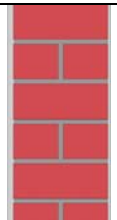
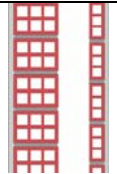
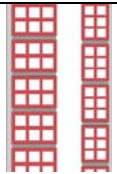
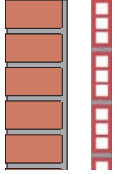
La hoja de protección se fija al muro soporte mediante subestructuras diseñadas al efecto.

2.2.2.2. Tipos de soporte

En principio, cualquier muro de fachada puede ser utilizado como soporte de una fachada ventilada.

Para este apartado, se han seleccionado cinco muros de fachada característicos de los sistemas constructivos empleados en los últimos 70 años y, por lo tanto, susceptibles de ser rehabilitados con un sistema de fachada ventilada.

Dichos muros son los siguientes:

	Croquis	Materiales	Espesor en cm
1		Revoco de cal Piedra calcárea Enlucido de yeso	3,00 50,00 1,50
2		Revoco de cal Ladrillo macizo Enlucido de yeso	2,00 30,00 1,00
3		Revoco exterior de cemento Ladrillo perforado Cámara de aire Tabique ladrillo hueco Enlucido de yeso	2,00 14,00 8,00 4,00 1,50
4		Revoco exterior de cemento Ladrillo perforado Cámara de aire Ladrillo hueco Enlucido de yeso	2,00 14,00 10,00 7,00 1,00
5		Ladrillo visto Cámara de aire Ladrillo perforado Enlucido de yeso	14,00 10,00 7,00 1,00

2.2.2.3. Ventajas

Las ventajas de este tipo de sistema son las siguientes:

- ✿ La solución es “desmontable” y, por lo tanto, susceptible de rehabilitarse en diversas ocasiones.
- ✿ Acompañado de condiciones de ventilación, contribuye a la eliminación de problemas de salubridad interior, como humedades y condensaciones.
- ✿ Los materiales empleados son desmontables y reciclables/reutilizables.
- ✿ No precisa de preparaciones previas de la superficie externa del muro (decapados, saneados, etc.).
- ✿ Permite alojar opcionalmente instalaciones entre la cámara y el aislante.
- ✿ La cámara de aire ventilada exterior protege al aislante y muro soporte de las inclemencias exteriores (agua, sol, viento, etc.).

Existe una multitud de sistemas para constituir fachadas ventiladas. Éstas pueden ser parcialmente ventiladas, pueden estar constituidas por una sola lámina de aire (con aberturas en la parte inferior y superior) o pueden disponer de aberturas en su superficie (sistemas con junta abierta).

Los soportes varían en forma y disposición según sistema y fabricante. Existen perfiles de aluminio o de acero, en forma de “U”, o en forma de “H” o perfiles tubulares.

Los elementos de cierre pueden ser elementos prefabricados cerámicos, vidrio, metálicos, o composites, en gran variedad de acabados, texturas y colores.

2.2.2.4. Limitaciones

La fachada incrementa su espesor hacia el exterior entre 10 y 20 cm para los acabados ligeros normalmente utilizados, pudiendo llegar a los 30 cm en el caso de revestimientos pétreos naturales.

2.2.2.5. Productos recomendados

Para este tipo de aplicación, se recomiendan productos semirrígidos de lana de vidrio o lana de roca suministrados en forma de panel o rollo.

Si la hoja externa es de vidrio u otro material transparente, es conveniente que la lana mineral esté revestida de un velo mineral negro.

2.2.2.6. Proceso de instalación

El proceso de instalación se puede resumir en los siguientes pasos:

- Sobre el muro soporte se instalan los elementos de sujeción de la subestructura de la hoja exterior.
- Se procede a la instalación de los paneles de lana mineral en el espesor adecuado según las necesidades de aislamiento, fijándolos al muro soporte mediante tacos autoexpandibles tipo "sombriilla" de material plástico.
- El número de fijaciones variará según el formato de los paneles pero, en ningún caso, se aplicarán menos de 4 fijaciones por m².
- Se instala la subestructura fijada a los elementos de fijación.
- Se instala la hoja exterior.

2.2.2.7. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 2.

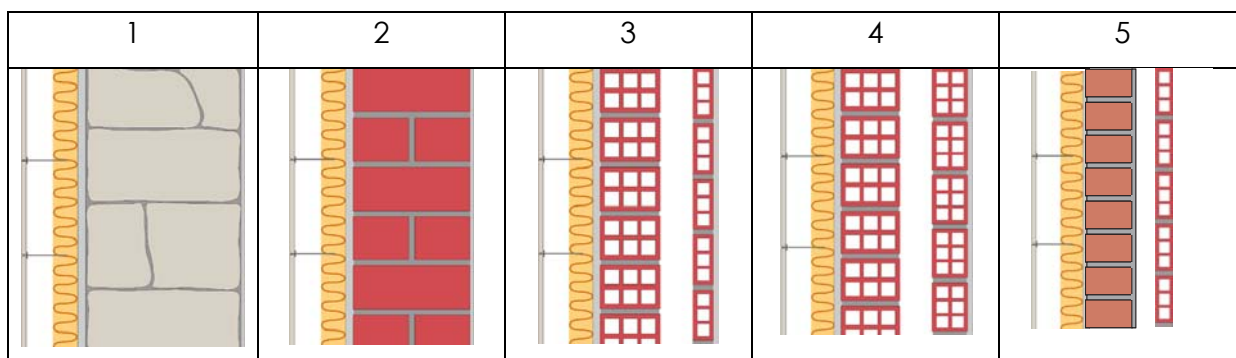


Figura 2.

2.2.2.8. Prestaciones térmicas de los sistemas

Las prestaciones térmicas de los diferentes sistemas se muestran en la Fig. 3.

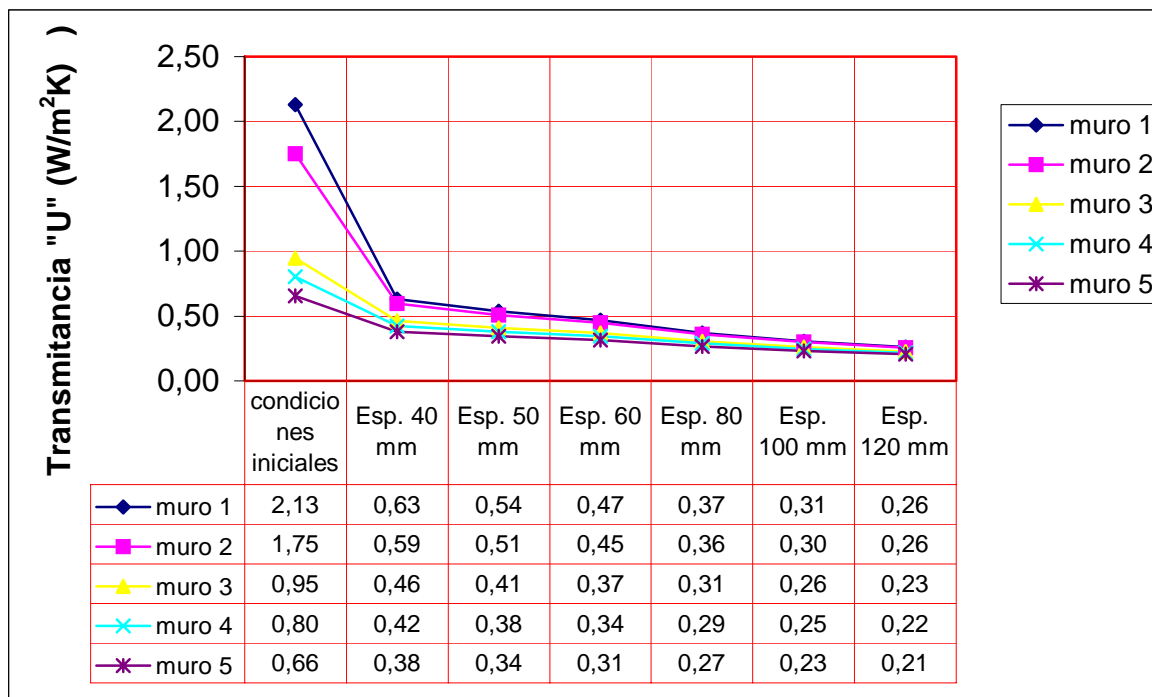


Figura 3.

2.2.3. Rehabilitación de fachada aislada para revestir directamente sobre la plancha de poliestireno extruido (XPS) por el exterior (ETICS)

Se trata de una solución constructiva mediante ETICS, *External Thermal Insulation Composite System*.

2.2.3.1. Tipos de soporte

Existen diversos tipos de fábricas, habitualmente de ladrillo o bloques de diversos tipos. Sobre el muro soporte así formado, se procede a instalar el aislamiento de XPS que, posteriormente, se reviste con mortero para dar el acabado final visto.

2.2.3.2. Ventajas y limitaciones

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en este apartado, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las

planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en fachadas con revestimiento directo sobre el aislante: el propio revestimiento).

En fachadas con aislamiento de XPS revestido directamente por el exterior del muro soporte, existen sistemas que se basan en morteros preparados a tal efecto. Se trata de los llamados morteros “monocapa”.

2.2.3.3. Productos recomendados

La referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164 es la siguiente:

- ✿ Producto XPS sin piel de extrusión, para permitir el agarre del revestimiento.
- ✿ CS(10\Y)200.
- ✿ Dimensiones de la plancha: 1200 mm x 600 mm.
- ✿ Junta a media madera.

2.2.3.4. Proceso de instalación

Consiste en la aplicación, sobre la superficie exterior de la fachada o medianera existente, de las planchas de XPS, que van después revestidas por una capa protectora y de acabado ejecutada con morteros especiales por instaladores cualificados.

Existen diversos sistemas disponibles en el mercado que suministran el conjunto de materiales y componentes necesarios para la puesta en obra, de modo que se asegure la compatibilidad entre todos ellos. Se recomienda acudir a las empresas suministradoras de dichos sistemas.

2.2.3.5. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se reflejan en la Fig. 4.

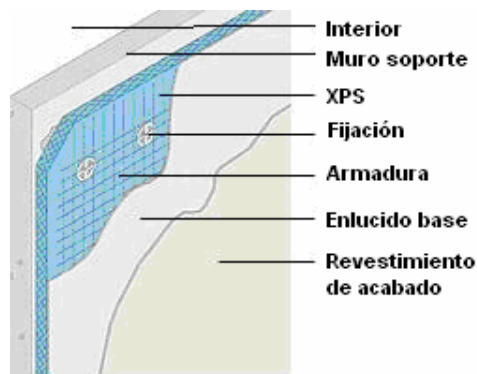


Figura 4. Detalle constructivo.

2.2.3.6. Prestaciones térmicas

Para el caso de fachadas, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m² K]:

- Fachada de dos hojas con cámara (R= 0.17 m² K/W):

Tipo de fábrica exterior	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	1,561	0,748	0,616	0,524	0,456	0,362	0,307
1 asta L.P.	1,242	0,666	0,559	0,482	0,424	0,341	0,292

- Fachada de una sola hoja:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	2,693	0,809	0,657	0,553	0,478	0,375	0,317
1 asta L.P.	1,866	0,714	0,593	0,507	0,443	0,354	0,301

Del mismo modo, para el caso de medianeras, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m² K]:

- Doble hoja y cámara intermedia (R= 0.14 m² K/W):

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	1,153	0,631	0,535	0,464	0,410	0,332	0,285
Hueco triple	1,010	0,586	0,502	0,439	0,390	0,319	0,276

En este punto conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1.000 m² y un 25%, como mínimo, de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[NOTA: Hay que tener en cuenta que el valor U *límite* afecta al valor U *medio* de transmisión térmica del cerramiento dado. Es decir, hay que introducir, en la media ponderada, los valores U de los diversos puentes térmicos, que no tienen por qué coincidir con el valor U del cerramiento-tipo. De hecho, normalmente serán valores mayores y, si no se aíslan convenientemente, habrá que compensar las mayores pérdidas energéticas a su través con un “plus” de aislamiento en el cerramiento-tipo, siempre que no aparezca ningún riesgo de condensaciones. Sin embargo, aislando la fachada por el exterior será poco probable que se produzca este efecto de los puentes térmicos, puesto que es más sencillo evitarlos].

PARAMENTOS OPACOS				U _{medio} [W/m ² K]	ZONA CLIMÁTICA CM	
					D	E
FACHADAS	Al exterior	UM1	AM1	$\frac{\Sigma(A \cdot U)}{\Sigma A}$	0,66	0,57
	A espacio no habitable	UM2	AM2			
	Pte.Tér.- contorno hueco	UPF1	APF1			
	Pte.Tér.-pilar	UPF2	APF2			
	Pte.Tér.- capialzado	UPF3	APF3			

Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

2.2.4. Rehabilitación de fachadas medianeras y fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)

2.2.4.1. Rehabilitación de fachadas medianeras con espuma de poliuretano proyectado

2.2.4.1.1. Descripción

Tanto en obra nueva como cuando, por derribo del edificio adyacente, aparece una fachada medianera, será necesaria la incorporación de aislamiento térmico.

En muchos casos, cuando existe derribo del edificio colindante, quedan al descubierto importantes deficiencias en el acabado de la fachada, oquedades, falta de sellado e impermeabilidad, inconsistencia y, por supuesto, ausencia de aislamiento térmico.

Con la solución de incorporar a estas fachadas espuma de poliuretano proyectado, se consigue una magnífica rehabilitación de la fachada medianera aportando sellado, impermeabilidad, consistencia y aislamiento térmico.

Con el fin de que la espuma no se degrade por efecto de los rayos ultravioleta, se deberá proteger mediante pintura o un elastómero de poliuretano proyectado de 1.000 kg/m³ que, además, mejorará todas las prestaciones de la solución.

También se recomienda la protección mediante enfoscado o tabique de ladrillo de los 3,5 primeros metros desde su base, con el fin de proteger la solución de agresiones externas.

2.2.4.1.2. Elementos del sistema

Los elementos del sistema son los siguientes:



Aislamiento:

- Espuma de poliuretano proyectada.
- Capa de espesor mínimo de 30 mm.
- Densidad mínima de 35 kg/m³.



Protección:

- Elastómero de poliuretano.
- Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
- Densidad 1.000 kg/m³ con coloración.
- Aporta protección UV a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad y la consistencia.



2.2.4.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el exterior de espuma de poliuretano proyectado (PUR)

2.2.4.2.1. Descripción

Cuando el interior de la vivienda es inaccesible y se valora cambiar la estética de la fachada, o bien su renovación por cuestiones de seguridad, se puede plantear la realización de una fachada ventilada.

Se procede inicialmente a la limpieza y acondicionamiento de la fachada que debe soportar el sistema ventilado. Lo habitual es proyectar la espuma de poliuretano una vez se ha fijado el entramado metálico y, a continuación, colocar las piezas que forman el revestimiento de la fachada.

2.2.4.2.2. Elementos del sistema

El sistema está formado por el siguiente elemento:



Aislamiento:

- Espuma de poliuretano proyectada
- Capa de espesor mínimo de 30 mm.
- Densidad mínima de 35 kg/m³.

2.2.4.2.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta estanqueidad y tratamiento óptimo de los puentes térmicos.

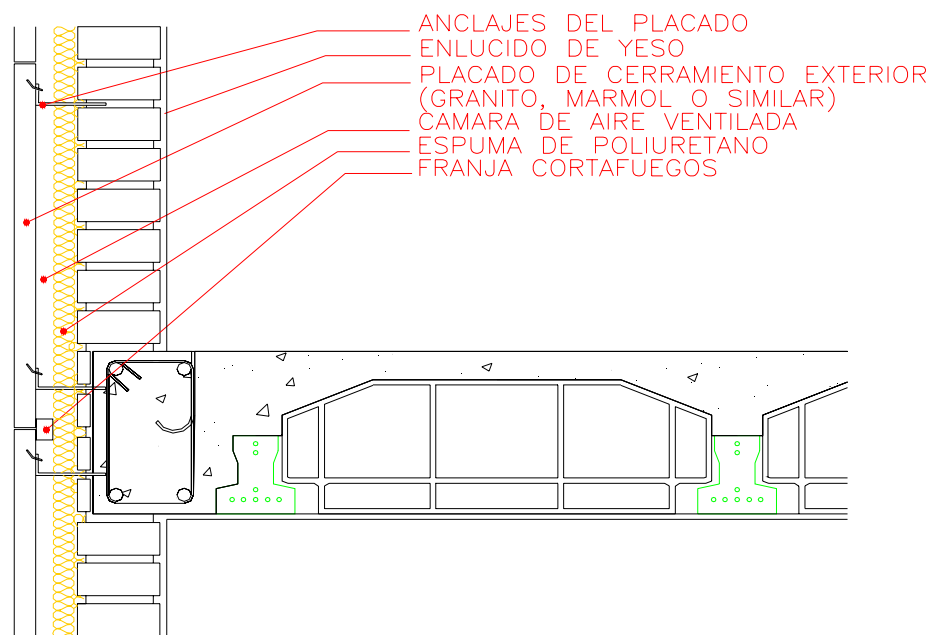


Figura 5.

2.3. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico 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.

Intervenir por el interior del cerramiento soporte presenta las siguientes particularidades:

- ✿ Se incrementa el aislamiento térmico del muro soporte.
- ✿ Pueden efectuarse intervenciones "parciales" a nivel de una vivienda o sólo algunos locales.
- ✿ Permite sanear los muros de fábrica cuando éstos presentan defectos, corrigiendo los defectos de planimetría, desplome, etc., del muro soporte.
- ✿ No se precisan sistemas de andamiaje que invadan la vía pública.
- ✿ En el caso de viviendas, puede ser factible en soluciones más sencillas y de poca cuantía, que el propio usuario de la vivienda acometa como bricolaje la ejecución de la reforma.
- ✿ Instalado el aislamiento sobre las fachadas, puede que se reduzca la superficie útil del edificio o vivienda. Dependerá que en la rehabilitación se aproveche para demoler el tabique interior del muro que cobija la cámara de aire (espesor total del conjunto tabique + cámara \approx 8-10 cm), siendo sustituido por un aislamiento con incorporación directa del acabado interior (espesor total \approx 5-7 cm < 8-10 cm).
- ✿ Se vuelve muy delicada la corrección de los puentes térmicos, debido al elevado riesgo de formación de condensaciones superficiales. Destacar que, al aislar por el interior, el muro de la fachada se encuentra relativamente frío y, por tanto, cualquier área donde se interrumpa el aislamiento térmico, estará fría, por debajo del punto de rocío del ambiente interior y, en definitiva, con muchas probabilidades de formación de condensaciones y moho. En cualquier caso, será relativamente sencillo aislar los llamados puentes térmicos "integrados" en la fachada, es decir, pilares, capialzados y formación de huecos. Sin embargo, será prácticamente imposible la resolución de los puentes térmicos lineales o de contorno procedentes de la

intersección de las fachadas con forjados y particiones interiores, como, por ejemplo, los frentes de forjado.

- ✿ Es especialmente conveniente aislar por el interior cuando la vivienda o edificio no son de ocupación permanente. Es el caso típico de una vivienda de fin de semana. Al aislar por el interior, se consigue calentar la vivienda con la mayor efectividad y rapidez, ya que el sistema de climatización acondicionará sólo el volumen de aire de la casa, los muebles y los acabados interiores. En definitiva, una masa y una capacidad caloríficas bajas, con lo que será fácil de calentar. Con el aislamiento por el exterior, sin embargo, la casa tardaría bastante más en alcanzar la temperatura deseada, ya que la calefacción debería calentar una masa mucho mayor. Por el contrario, una vez alcanzada la temperatura, la casa aislada por el exterior también tardará más en enfriarse en invierno o calentarse en verano, punto muy importante de cara al acondicionamiento estival.
- ✿ Al ejecutarse la intervención por el interior, puede limitarse a una parte del inmueble intervenido, por ejemplo, a una sola vivienda o local en particular. Por consiguiente, se trata de una obra menor y, en principio, no se requerirá, previo a la intervención, el acuerdo expreso de la Comunidad de Vecinos.
- ✿ Es aplicable a cualquier tipo de fachada. En el caso de edificios con un grado de protección como parte del patrimonio histórico-artístico, intervenir por el interior será la única opción para ejecutar la obra de rehabilitación, ya que no se podrá hacer por el exterior, dada la alteración que supondría de las fachadas.

2.3.1. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) por el interior

En la Fig. 6 se muestra la rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico de EPS por el interior.

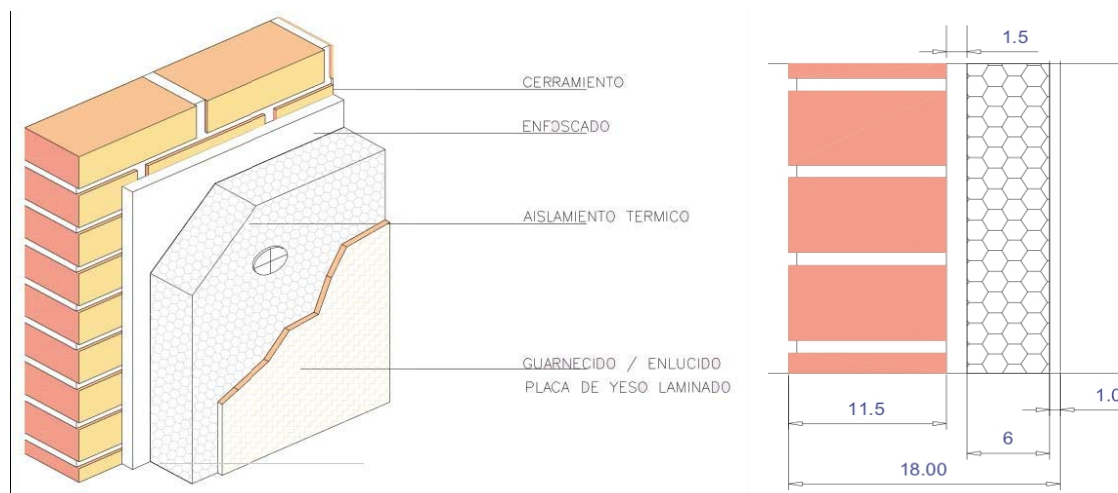


Figura 6. Esquema básico de aislamiento por el interior.

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

En este sistema se fijan los paneles aislantes (con adhesivos o con fijaciones mecánicas) sobre la cara interior de la fachada 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 que aparecen en la Tabla 2.

TABLA 2. Especificaciones mínimas del EPS para aislamiento por el interior.

AISLAMIENTO POR EL INTERIOR		NIVEL
Especificación	Norma de ensayo	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 23°C 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

2.3.1.2. 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 las 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 (λ 0,030 - 0,032 W/m·K), que aportan más aislamiento con menos espesor.

2.3.1.3. Detalles críticos del sistema

En la rehabilitación, los detalles críticos de este sistema son los siguientes:

- ❖ 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 pared para asegurar una correcta protección de la misma 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 que sea 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.

2.3.2. Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el interior. Trasdosados autoportantes de placas de yeso laminado sobre perfiles metálicos y aislamiento de lana mineral

2.3.2.1. Descripción

Sistema de aislamiento por el interior utilizado muy frecuentemente como sistema de mejora del aislamiento térmico y acústico de cerramientos verticales.

Está formado por placas de yeso laminado fijadas sobre perfiles metálicos independientes del muro portante, con relleno del espacio intermedio mediante lana mineral (lana de vidrio o lana de roca).

2.3.2.2. Tipos de soporte

El sistema de trasdosados puede aplicarse a cualquier tipo de soporte sin requerimientos especiales, ya que el trasdosado es autoportante y no utiliza el muro como soporte.

2.3.2.3. Ventajas

Además de las mencionadas anteriormente, presenta las siguientes ventajas:

- ✿ Se consigue un incremento del aislamiento acústico del muro soporte.
- ✿ Es un sistema de construcción "seco". El proceso de instalación es rápido y sin tiempos de espera para secado de morteros o yesos.
- ✿ No es imprescindible desalojar el edificio.
- ✿ Permite alojar fácilmente instalaciones entre la placa y el propio aislante.

- Resuelve los puentes térmicos integrados en la fachada (pilares, contornos de huecos, etc.).

2.3.2.4. Limitaciones

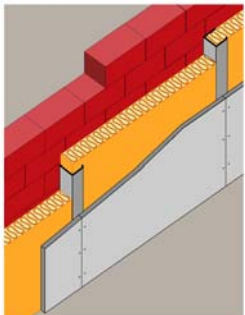
Disminuye el espacio interior en torno a 6 cm.

2.3.2.5. Productos recomendados

Para esta aplicación se recomiendan los paneles semirrígidos de lana de vidrio o lana de roca, ya sean suministrados en forma de panel o de panel enrollado.

2.3.2.6. Proceso de instalación

El proceso de instalación se resume en la siguiente tabla:

	<p>El muro soporte debe repararse si presenta defectos importantes de estanqueidad, grietas, desconchones, mohos, etc.</p>
	<p>Se colocan las canales metálicas en la parte baja y alta del trasdosado, cuidando de la correcta alineación y aplomo. Es recomendable intercalar una junta estanca entre las canales y el suelo o el techo.</p>
	<p>Los montantes cortados a la altura requerida se alojan dentro de las canales por simple presión, cada 60 cm o 40 cm, sin atornillado o remachado. Es conveniente que no exista contacto entre los perfiles metálicos y el muro soporte. Si el espesor de aislamiento lo aconseja, pueden situarse las canales y montantes de forma que pueda colocarse una capa de aislante entre ellos y el muro soporte.</p>
	<p>Se coloca el aislante entre los montantes, simplemente retenido por las alas de los mismos. Es fundamental que el aislante rellene totalmente la cavidad. Puede ser aconsejable una ligera compresión de la lana de vidrio o lana de roca (del orden de 1 cm).</p>
	<p>Se realizan los pasos de instalaciones que sean necesarios. La elasticidad de la lana mineral permite su paso sin necesidad de efectuar rozas y debilitar el aislamiento.</p>
	<p>Se procede a colocar las placas de yeso mediante atornillado de las mismas a los montantes. Para finalizar el trabajo, se efectúa el tratamiento de juntas de las placas de yeso.</p>

2.3.2.7. Tratamiento de puentes térmicos

El sistema de aislamiento por el interior mediante trasdosados sobre entramado metálico y relleno de lana mineral aislante (de vidrio o de roca), permite la práctica eliminación de los puentes térmicos superficiales integrados en la fachada.

Por el contrario, no resuelve los puentes térmicos lineales "de contorno" (frentes de forjado, intersección de muros de fábrica, etc.).

2.3.2.8. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 7.

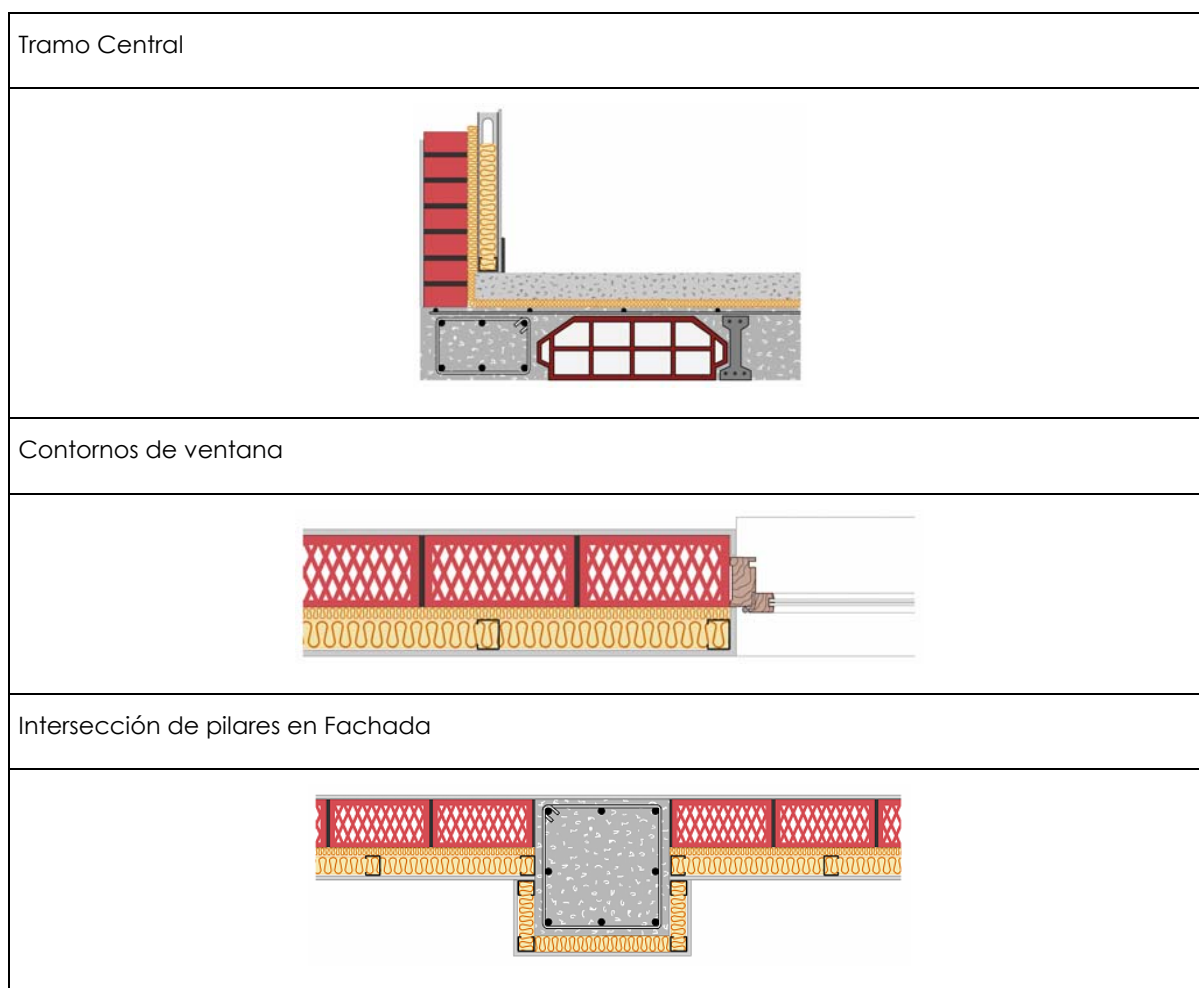


Figura 7. Detalles constructivos.

2.3.2.9. Prestaciones térmicas

Las prestaciones conseguidas mediante este sistema dependen de la eficacia del muro soporte antes de efectuar el trasdosado.

La eliminación de los puentes térmicos integrados en la fachada permite obtener un aislamiento uniforme (lo que evita tener que considerar estos puentes térmicos en la evaluación térmica de la parte opaca de la fachada).

La Fig. 8 permite realizar una evaluación de las prestaciones térmicas.

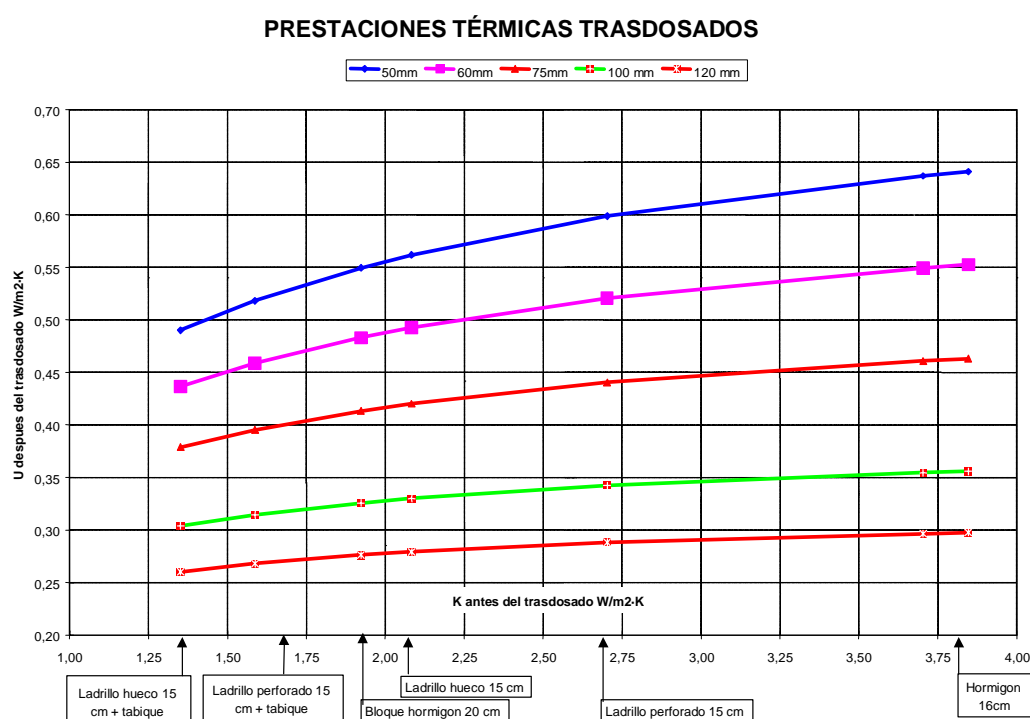


Figura 8.

2.3.3. Rehabilitación de fachada y fachada medianera por el interior con plancha aislante de poliestireno extruido (XPS) para revestir con yeso *in situ* o placa de yeso laminado

2.3.3.1. Tipos de soporte

En estos casos, aparecen diversos tipos de fábricas, habitualmente de ladrillo o bloques de diversos tipos. Sobre el muro soporte así formado se procede a

trasdosar por el interior con el aislamiento de XPS que, posteriormente, se reviste con yeso *in situ* para dar el acabado final visto. Una alternativa al yeso *in situ* puede ser la placa de yeso laminado.

2.3.3.2. Ventajas y limitaciones

En cualquiera de las disposiciones del aislamiento explicadas en este apartado, tanto si van colocadas al exterior del soporte como al interior, las planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en este caso, enlucidos, yeso *in situ*, etc.).

2.3.3.3. Productos recomendados

A continuación, se presenta una referencia de producto de XPS basada en la nomenclatura de la norma de producto UNE EN 13164:

- ✿ Para aplicar yeso *in situ*:
 - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el agarre del yeso.
 - CS(10\Y)200.
 - Dimensiones de la plancha: 1250 mm x 600 mm.
 - Junta recta.
- ✿ Para laminar la placa de yeso laminado:
 - Producto XPS sin piel de extrusión para permitir el pegado de la placa.
 - CS(10\Y)250.
 - Dimensiones de la plancha: 2500 mm x 600 mm.
 - Junta recta.

2.3.3.4. Proceso de instalación

- ✿ Para aplicar yeso *in situ*:
 - En primer lugar se pegan las planchas de XPS al soporte. El adhesivo, habitualmente tipo cemento-cola, puede aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y estado del soporte, en bandas

verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm o, directamente, si el soporte presenta una buena planeidad, en toda la superficie de la plancha mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada. [NOTA: se consultará al fabricante del adhesivo que éste no contenga disolventes y sea compatible con el poliestireno].

- Cuando se opte, como complemento del adhesivo, por el uso de fijaciones mecánicas, se colocarán en cada plancha cinco anclajes (tipo taco o espiga plástica) en las esquinas (a unos 10-15 cm) y en el centro.
- Las planchas de XPS se aplican sobre el muro soporte de abajo hacia arriba, con las juntas verticales a tresbolillo, a partir de una regla nivelada adaptada al espesor de las planchas y situada en la parte inferior.
- Las planchas de XPS se presionan contra el soporte a base de pequeños golpes con ayuda de la llana o el fratás, controlando la planimetría de la superficie con una regla de nivel. Debe evitarse el relleno de las juntas a tope con el adhesivo.
- Los cortes y ajustes de las planchas sobre ángulos y aberturas se pueden practicar con sierra o cutter.
- En las uniones con carpinterías y otros encuentros, es conveniente dejar las planchas de XPS separadas alrededor de 1 cm, interponiendo una banda de espuma flexible.
- En general, a las 24 horas del recibido de las planchas sobre el muro, puede procederse al revestimiento de las mismas con yeso. Se procede, entonces, a la preparación habitual del guarnecido de yeso negro (Y-12), extendiendo una primera capa de unos milímetros de espesor para recibir la malla de revoco, llevándose a cabo

inmediatamente el recubrimiento de la misma hasta alcanzar un espesor mínimo de 15 mm. De este modo, se podrá dar luego el enlucido de yeso blanco (Y-25).

- Las bandas de la malla de revoco deben solaparse 100 mm. En las esquinas de ventanas o puertas se recomienda reforzar aquellas con bandas de malla de 100 mm x 200 mm cruzadas en diagonal.



Para aplicar placa de yeso laminado:

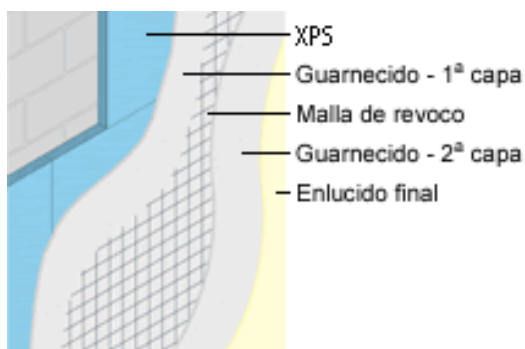
- Para el encolado de los laminados de yeso al XPS se usan colas vinílicas, acrílicas, vinílico-acrílicas, poliuretano de 1 o 2 componentes, o adhesivos de contacto sin disolventes, compatibles con el poliestireno.
- Posteriormente, el panel formado de placa de yeso laminado y XPS se pegará al soporte mediante adhesivos tipo cemento-cola, que puede aplicarse sobre las planchas, según la naturaleza y estado del soporte, en bandas verticales de 5-10 cm de ancho, a razón de 5 por plancha de 1,25 m, por puntos (pelladas) separados entre sí un máximo de 30 cm, o directamente en toda la superficie de la plancha, si el soporte presenta una buena planeidad, mediante la aplicación del adhesivo con llana dentada.
- Para la colocación del panel de XPS con yeso laminado se seguirá el proceso habitual con placas de yeso laminado o cartón-yeso. Así, para el replanteo, conviene marcar una línea en el suelo que defina el paramento terminado (pellada + espesor de panel), y otra línea de pañeado (pellada + espesor de panel + ancho de la regla de pañear). Posteriormente, se actuará de modo que los paneles queden a tope con el techo y separados unos 15 mm del suelo. Cuando los paneles no alcancen la altura total, se alternarán las juntas a tresbolillo.

- Una vez que haya sido presentado el panel, se calzará para que no descienda, y se pañeará con la regla hasta llevarlo a su posición correcta.
- Para dejar los paneles listos para la aplicación del acabado, sólo quedará realizar el tratamiento de juntas, esquinas y rincones. El tratamiento es el habitual con las placas de yeso laminado: plastecido con pasta de juntas, colocación de cintas o vendas de juntas y capas de terminación. En caso de que se hayan empleado fijaciones mecánicas en la instalación de los paneles, deberán plastecerse las cabezas de los tornillos.
- Cuando se vaya a pintar la superficie, se preparará el paramento mediante una imprimación de tipo vinílico o sintético para igualar la absorción de todas las zonas. Si el paramento va alicatado, se sellarán con silicona todas las salidas de tubos, y los azulejos se colocarán con cemento-cola.

2.3.3.5. Detalles constructivos

Los detalles constructivos se pueden observar en la Fig. 9.

Aplicación de yeso *in situ*



Aplicación de placa de yeso laminado

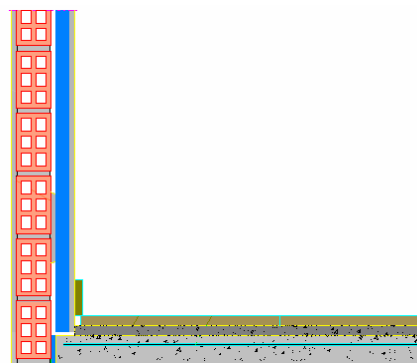


Figura 9. Detalles constructivos.

2.3.3.6 Prestaciones térmicas

Para el caso de fachadas, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m² K]:

☀ Fachada de dos hojas con cámara (R= 0.17 m² K/W):

Tipo de fábrica exterior	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	1,561	0,748	0,616	0,524	0,456	0,362	0,307
1 asta L.P.	1,242	0,666	0,559	0,482	0,424	0,341	0,292

☀ Fachada de una sola hoja:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
½ asta L.P.	2,693	0,809	0,657	0,553	0,478	0,375	0,317
1 asta L.P.	1,866	0,714	0,593	0,507	0,443	0,354	0,301

Del mismo modo, en el caso de medianeras, se dispone de los siguientes valores U de transmitancia térmica [en W/m² K]:

☀ Doble hoja y cámara intermedia (R= 0.14 m² K/W):

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	1,153	0,631	0,535	0,464	0,410	0,332	0,285
Hueco triple	1,010	0,586	0,502	0,439	0,390	0,319	0,276

☀ Hoja sencilla:

Tipo de fábrica	Sin rehabilitar	Rehabilitada con XPS en espesor de:					
		3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm
Hueco doble	1,839	0,714	0,593	0,507	0,443	0,353	0,301
Hueco triple	1,653	0,684	0,572	0,492	0,431	0,346	0,296

En este punto, conviene recordar los valores U límites establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE-1. Para rehabilitaciones que afecten a más de 1.000 m² y un 25%, como mínimo, de los cerramientos, dichos valores son obligatorios. Para rehabilitaciones de inferior entidad parece oportuno tomarlos como referencia adecuada para las prestaciones térmicas del cerramiento rehabilitado.

[Véase NOTA correspondiente en sección relativa a "Rehabilitación de fachada aislada por el exterior para revestir directamente sobre la plancha aislante de XPS". En el caso de aislamiento por el interior será más crítico].

CERRAMIENTOS OPACOS			U_{medio} [W/m ² K]	ZONA CLIMÁTICA CM	
				D	E
FACHADAS	Al exterior	UM1 AM1	$\frac{\Sigma(A \cdot U)}{\Sigma A}$	0,66	0,57
	A espacio no habitable	UM2 AM2			
	Pte.Tér.- contorno hueco	UPF1 APF1			
	Pte.Tér.-pilar	UPF2 APF2			
	Pte.Tér.- capialzado	UPF3 APF3			

Provincia	Capital	Altura referencia	Desnivel entre localidad y capital (m)				
			200-400	400-600	600-800	800-1000	>1000
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1

2.3.4. Rehabilitación de fachada mediante espuma de poliuretano proyectado (PUR) por el interior

2.3.4.1. Descripción

Cuando se van a realizar obras en el interior de la vivienda y se valora la realización de un trasdós en el interior de la fachada, se tendrá en cuenta el principal condicionante, que es el espacio útil que se pierde.

En el caso de muros de una hoja en que se decida realizar un trasdosado armado, se proyectará espuma de poliuretano tratando los puentes térmicos accesibles, y se ejecutará posteriormente el trasdosado armado de placa de yeso laminado.

Si se trata de un trasdosado directo, se puede optar bien por conjuntos de plancha de poliuretano y placa de yeso laminado, o bien la ejecución *in situ* de dicho sistema constructivo.

En el caso de muros con cámara de aire en que se realiza la demolición de la hoja interior de ladrillo, se puede aprovechar el espacio disponible y tratar de forma global los puentes térmicos (pilares, contornos de ventana, etc.).

2.3.4.2. Elementos del sistema

El elemento que conforma el sistema es el siguiente:

- ✿ Aislamiento:
 - Espuma de poliuretano proyectada.
 - Capa de espesor mínimo de 30 mm.
 - Densidad mínima de 35 kg/m³.

2.3.4.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta estanqueidad y tratamiento parcial de los puentes térmicos.

2.4. Rehabilitación de fachadas con aislamiento térmico por inyección en cámaras

En este apartado se describe la rehabilitación de fachadas con espuma de poliuretano (PUR) por inyección en cámaras.

2.4.1. Descripción

Cuando se descarta cualquier intervención por el exterior y no se desea perder espacio en el interior, se valorará la inyección de aislamiento en la cámara siempre que ésta sea accesible y cumpla con una serie de requisitos que hagan la intervención segura.

2.4.2. Elemento del sistema

El elemento que compone el sistema es el siguiente:

- ✿ Aislamiento:
 - Espuma de poliuretano inyectada de baja densidad, 12 kg/m³ inicial, pudiendo alcanzar de 18 a 25 kg/m³ aplicada.
 - $\lambda = 0.038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.
 - Relleno con un espesor mínimo de 40 mm.

2.4.3. Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta rigidez a la fachada.

2.4.4. Recomendaciones

Este tipo de solución constructiva requiere una especial atención, tanto por la valoración de su idoneidad como por la ejecución.

Se debe recurrir a este tipo de solución cuando queden descartadas otras posibilidades de aislamiento. Si se opta por la misma, conviene asegurar el resultado pretendido. Para ello, las inyecciones se realizarán a través de taladros espaciados, como máximo, 50 cm entre sí, sin que se sitúen sobre la misma línea.

La inyección debe comenzar por los taladros situados en la parte inferior, llenando la cámara de abajo arriba, lentamente, ya que el material específico para

estos casos, de baja densidad 12 kg/m^3 en expansión libre y con un período de espumación lento, debe saturar el volumen de la cámara sin crear tensiones excesivas en las fábricas colaterales, ya que éstas se pueden llegar a fisurar.

En la elección de este tipo de solución se ha de tener en cuenta que el llenado del volumen de la cámara puede verse entorpecido por elementos distorsionantes internos.

En ningún caso con este sistema se puede garantizar la impermeabilización del cerramiento.