

Edificios

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

Soluciones

de Aislamiento
con Poliuretano



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

Edificios



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

Soluciones

**de Aislamiento
con Poliuretano**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN

Soluciones de Aislamiento con Poliuretano

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 Envoltura 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-44699-2008
ISBN-13: 978-84-96680-39-5

.....

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 | Objeto | 9 |
| 3 | Ámbito de aplicación | 11 |
| 4 | Tipologías constructivas | 13 |
| 5 | Criterios de calidad y diseño | 17 |
| 5.1 | Espuma de poliuretano proyectada | 17 |
| 5.2 | Planchas de poliuretano conformado | 20 |
| 5.3 | Paneles sándwich de poliuretano | 20 |
| 6 | Soluciones de rehabilitación | 23 |
| 6.1 | Cubierta plana. Proyección de espuma de poliuretano y protección - con elastómero | 23 |
| 6.2 | Cubierta inclinada. Proyección de espuma de poliuretano sobre teja - y protección con elastómero | 28 |
| 6.3 | Cubierta inclinada. Proyección de espuma de poliuretano bajo teja | 28 |
| 6.4 | Cubierta inclinada. Proyección de espuma de poliuretano sobre cubierta - de fibrocemento | 30 |
| 6.5 | Fachadas. Aislamiento por el interior | 34 |
| 6.6 | Fachadas medianeras | 34 |
| 6.7 | Fachadas. Aislamiento por el exterior | 35 |
| 6.8 | Fachadas. Inyección en cámaras | 35 |
| 6.9 | Soluciones con planchas conformadas de poliuretano | 36 |
| 6.10 | Soluciones con paneles inyectados de Poliuretano | 40 |

| | |
|---|------|
| 7 Índices de eficiencia energética | 43 - |
| 8 Procedimiento para la realización del proyecto..... | 45 - |
| 9 Casos prácticos | 47 - |
| 10 Bibliografía..... | 57 - |

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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂.

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

OBJETO

El propósito de esta publicación es proporcionar información sobre las oportunidades para ahorrar energía mediante la rehabilitación térmica del parque de edificios existentes con soluciones constructivas que incluyan aislamiento con poliuretano.

Se considera de especial interés para las autoridades locales y autonómicas, así como para propietarios de edificios o viviendas y administradores de fincas, que encontrarán en esta información inspiración para tomar decisiones en este ámbito.

La espuma de poliuretano es uno de los productos aislantes más empleados en construcción. Las razones principales son su **versatilidad y sus prestaciones**. Se encuentra en forma de:

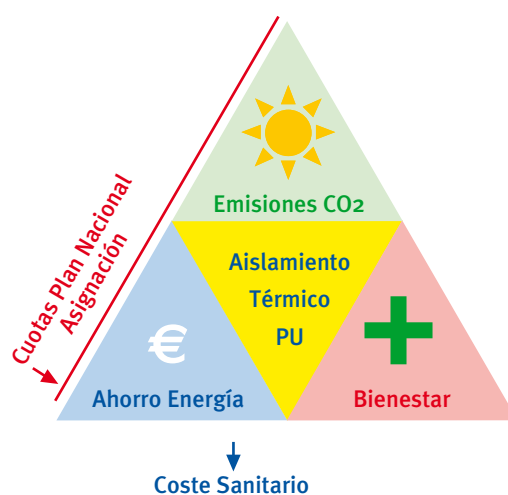
- proyección “in situ”
- planchas conformadas
- paneles sándwich prefabricados

Y destaca entre los aislantes térmicos por su:

- elevada capacidad aislante
- durabilidad en el tiempo

El aislamiento térmico de los edificios

El aislamiento térmico es la piedra angular de la **edificación sostenible**. Su empleo de forma óptima garantiza el **equilibrio entre los beneficios sociales, económicos y medioambientales** minimizando los diversos costes durante la vida útil de los edificios.



La nueva regulación en materia de **Ahorro de Energía y Aislamiento Térmico del Código Técnico de la Edificación** establece los niveles de limitación de la demanda energética de las diferentes partes de los edificios: fachadas o muros, cubiertas, suelos y huecos.

El aislamiento de fachadas, cubiertas y suelos reduce las pérdidas de energía debidas a la diferencia de temperatura entre recintos con independencia de cómo se ha generado el frío o el calor, es decir, independiente de que la fuente de energía sea renovable o no.

La diversa climatología de nuestro país y las distintas tipologías constructivas asociadas ofrecen un gran número de posibilidades de aislar nuestros edificios para que ahorren energía y disminuyan las emisiones de CO₂.

3

ÁMBITO DE APLICACIÓN

En el caso de los edificios de nueva construcción las opciones se multiplican pero cuando llega el momento de rehabilitar un edificio térmicamente, las posibilidades se reducen y las características constructivas establecen los límites, pasando a un primer plano el análisis de viabilidad de las intervenciones.

Las tipologías edificatorias que más pueden aprovechar estas técnicas son aquellas:

- Cuyo cerramiento en fachada tenga una gran superficie opaca, o dicho de otro modo, con poca superficie acristalada.
- Cuyo cerramiento en cubierta sea accesible y con pocas heterogeneidades que

permitan la intervención en buena parte de la superficie.

Concentrando las intervenciones en cubiertas y fachadas, y siempre en función de la tipología constructiva, nos encontramos con dos grandes grupos de intervenciones:

- Las que se realizan desde el interior, que suelen producir molestias en los usuarios del edificio y en algún caso reducen el espacio útil.
- Las que se realizan desde el exterior, que necesitan la utilización de medios auxiliares (como andamios), encareciendo la intervención.

La altura del edificio no es una limitación; no obstante, la intervención en cubierta tiene una mayor repercusión en edificios de menos de cuatro plantas.

4

TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

A continuación se recogen brevemente aspectos característicos de las diferentes soluciones constructivas de rehabilitación de fachadas y cubiertas.

Fachadas o muros

Aislamiento de fachadas por el exterior

Se realiza en muros de una hoja o con cámara de aire no accesible y con posibilidad de renovar estéticamente la fachada.

Una vez colocado el aislamiento al muro soporta las diferencias técnicas y económicas de los sistemas se hallan en el tipo de revestimiento.

- Revestimiento continuo con acabado de mortero que impermeabiliza y protege la fachada.
- Revestimiento discontinuo pétreo o cerámico sobre estructura de madera o metálica, dando lugar a una fachada ventilada.

En el caso de la fachada ventilada una de las tecnologías más utilizadas por sus prestaciones es la proyección de espuma de poliuretano.

En determinados casos los paneles sándwich “arquitectónicos” dan lugar a una fachada aislada por el exterior pero sin ventilar.

Aislamiento de fachadas por el interior

Se realiza en muros de una hoja o con cámara de aire no accesible y manteniendo la estética exterior de la fachada.

El factor determinante es la cantidad de espacio disponible, lo cual limita el espesor del aislamiento que se adopte.

Normalmente el mejor resultado se consigue combinando aislamientos de baja conductividad térmica y poco espesor con trasdosados armados o directos a base de placas de yeso laminado como acabado interior.

En el aislamiento interior de la fachada se empleará normalmente espuma de poliuretano proyectada, en el caso de que haya desalojo de los ocupantes, o bien planchas de poliuretano conformado.

Relleno de cámaras de aire

Se realiza en muros de doble hoja con cámara de aire accesible (bien desde el interior o desde el exterior).

Las técnicas de inyección de los diversos productos aislantes están muy desarrolladas y exigen diferentes controles durante su ejecución:

- Revisión de las paredes (exterior e interior) por si existen grietas, defectos en las juntas o humedades que puedan reducir su resistencia durante la inyección del aislante. Exigen la detección de sus causas y su correcta reparación.
- Comprobar la continuidad de la cámara y la existencia de un espesor mínimo de relleno.
- Comprobar la existencia de cableados interiores a las cámaras.

Esta técnica es la que requiere más precisión y especialización por parte del aplicador.

Para el caso de relleno mediante espuma de poliuretano de baja densidad:

- **Recomendaciones de la puesta en obra:**

Las inyecciones se realizarán a través de pequeños taladros espaciados, como máximo 50 cm entre sí, sin que se sitúen sobre la misma vertical.

La inyección debe comenzar por los taladros situados en la parte inferior, llenando la cámara de abajo a arriba lentamente, ya que el material específico para estos casos, de baja densidad, en expansión libre y con un periodo 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.

La inyección de poliuretano en cámaras de aire conforme a unas rigurosas condiciones de puesta en obra consigue el relleno de la cámara con un aceptable aislamiento continuo y rígido, que no se cae a la parte inferior de la cámara por efecto de la humedad con el paso del tiempo.

Cubiertas

Ante todo hay que señalar que las intervenciones en cubiertas son siempre más viables que las intervenciones en las fachadas, por la accesibilidad de las mismas, y porque dentro del mantenimiento del edificio es más habitual que se realicen reparaciones en estas unidades de obra.

Las técnicas constructivas de incorporación del aislamiento en cubiertas estarán habitualmente ligadas a la necesidad de reparar el sistema de impermeabilización.

Distinguiremos en cada caso este condicionante en el análisis de la solución constructiva.

Aislamiento de cubiertas inclinadas o tejados

Depende de la necesidad de renovar total o parcialmente el revestimiento impermeable del tejado (teja, pizarra, etc.).

La suma de una capa de producto aislante no disminuye la sollicitación mecánica de la cubierta, sino que en la mayoría de los casos la mejora, como en la proyección de espuma rígida de poliuretano sobre ripias u otros soportes ligeros que además, en el caso de estar deteriorados, los rehabilita.

Las técnicas de fijación del tejado marcarán el modo de fijación del producto aislante: adherido, proyectado, fijado mecánicamente o entre rastreles, principalmente.

Las planchas de poliuretano conformado y la espuma de poliuretano proyectada se adaptan a las diferentes posibilidades de acabado de estos tejados.

Una intervención exterior de fácil ejecución y excelentes prestaciones es la aplicación del aislante sobre el tejado con una protección posterior (técnica habitual con proyección de espuma rígida de poliuretano y acabado con elastómero para protección de UV).

Lo más habitual, si existe altura disponible, es la intervención por el interior.

La intervención bajo cubierta en el caso de que este espacio sea accesible o pueda practicarse un acceso provisional o definitivo será, bien proyectando bajo el faldón, o bien colocando aislamiento sobre el forjado entre tabiquillos (proyectado o en forma de planchas conformadas).

Aislamiento de cubiertas planas o azoteas

Estas construcciones, por su tipo de impermeabilización, requieren de una intervención periódica para garantizar sus prestaciones de resistencia al paso del agua (las cuales se ven reducidas con el paso del tiempo).

Es una buena ocasión para incorporar aislamiento o aumentar su nivel en estas cubiertas.

Una vez retirado o reparado el sistema de protección de la impermeabilización, se puede dar la ejecución de diversas técnicas de aislamiento.

- En el caso de levantar la impermeabilización, se ejecutaría la instalación del

aislamiento y por encima se colocaría la nueva impermeabilización.

Las planchas de poliuretano conformadas cubrirán el soporte de la cubierta y se revestirán con la impermeabilización y el acabado deseado.

En el caso de la proyección de espuma de poliuretano cabe la posibilidad de proteger el aislamiento con otra proyección, en este caso con elastómero de alta densidad.

La proyección con espuma de poliuretano sobre barrera de vapor y posterior proyección de

elastómero de alta densidad garantizan aislamiento, impermeabilización, ausencia de condensaciones intersticiales y protección frente a UV, proporcionando a la cubierta las prestaciones y durabilidad necesarias.

En el caso de que se repare la cubierta completamente, incluyendo la estructura, puede valorarse una nueva construcción metálica que incluya los paneles sándwich como cerramiento.

5

CRITERIOS DE CALIDAD Y DISEÑO

El poliuretano aislante es una espuma rígida de celdas cerradas empleada en diversas aplicaciones en construcción tanto residencial como industrial.

Se utiliza como material de aislamiento térmico en forma espuma proyectada “in situ”, en forma de planchas en combinación con diversos revestimientos o en forma de panel sándwich.

5.1 ESPUMA DE POLIURETANO PROYECTADA

5.1.1 Materiales

Las espumas de poliuretano para aislamiento térmico mediante proyección son el resultado de un proceso de reacción química exotérmica de dos componentes: polioliol e isocianato, que conjuntamente con un agente expandente, dan lugar a un material rígido con un porcentaje de celda cerrada superior al 90% y una conductividad térmica con un λ 0,022 W/(m·K) valor inicial

y un valor de cálculo envejecido a 25 años de λ 0,028 W/(m·K); configurando un sistema adherido continuo e impermeable, destacando por estas razones el efecto de sellado, tan importante para evitar humedades, paso de aire y por consiguiente aislamiento al ruido aéreo. La descripción de los componentes consta en la norma UNE 92120-1.

La producción de la espuma rígida de poliuretano queda descrita en la norma UNE 92120-2 y consiste básicamente en una proyección realizada mediante máquina de aplicación de relación fija, dispuesta en un elemento de transporte (factoría autotransportada).

En la misma norma se describe la ejecución de la proyección.

La tipología de las espumas rígidas de poliuretano corresponde a su caracterización en base a la idoneidad de empleo, densidad y relacionada con ella, resistencia a compresión, según la tabla siguiente:

| Uso previsto | Densidad mínima aplicada (kg/m ³) incluidas las pieles | Resistencia a compresión (kPa) |
|-----------------------------|--|--------------------------------|
| Cubiertas planas visitables | 45-55 | ≥ 200 |
| Cubiertas inclinadas | 35-40 | ≥ 150 |
| Paramentos verticales | ≥ 33 | No procede |

5.1.2 Características de la espuma rígida

| Características | Norma | Unidad | Propiedades | | | | | |
|--|----------------|-------------------|---|------|------|------|------|------|
| Densidad | UNE EN 1602 | kg/m ³ | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| Espesor | UNE 92120 | mm | >30 en paredes >30 en cubiertas | | | | | |
| Conductividad térmica | UNE EN 12667 | W/m·K | λ _{10°C} envejecido a 25 años 0,028 Con expandentes HFC | | | | | |
| Resistencia a la compresión | UNE EN 826 | kPa | >115 | >150 | >185 | >220 | >255 | >290 |
| Absorción de agua | UNE EN 12087 | % en volumen | <4,1 | <3,7 | <3,3 | <2,9 | <2,6 | <2,4 |
| Permeabilidad al vapor de agua | UNE EN 12086 | μ | >70 | >80 | >90 | >100 | >110 | >150 |
| Resistencia a la tracción | UNE EN 1607 | kPa | >180 | >275 | >370 | >450 | >550 | >680 |
| Estructura celular | ISO 4590 | % Cerrada | > 90 | | | | | |
| Comportamiento al fuego desnudo | UNE EN 13501-1 | ---- | Desde E hasta C, s3-do | | | | | |
| Comportamiento al fuego en aplicación final de uso | UNE EN 13501 | ---- | Desde D,s3-do hasta B,s1-do según aplicación final de uso | | | | | |
| Coefficiente de dilatación o contracción | | 1/K | De 5 a 8·10 ⁻⁵ | | | | | |

Resistencia al paso de vapor de agua, factor μ

Las espumas de poliuretano aplicadas por proyección tienen una resistencia o factor μ que varía con la densidad, debiéndose tener en cuenta las especificaciones de los fabricantes para cada producto comercial.

Partiendo de estas diferencias y, por tanto, dependiendo de la densidad que utilicemos, podemos conseguir soluciones constructivas seguras, que nos garanticen la ausencia de condensaciones intersticiales. En soluciones constructivas que estén sometidas a condiciones extremas, y previo estudio higrotérmico, será necesario incorporar barreras anti-vapor.

5.1.3 Definición del sistema de fijación de la espuma a distintos elementos constructivos¹

5.1.3.1 Condiciones generales

La puesta en obra mediante proyección de las espumas rígidas de poliuretano y, en su caso, capas de acabado por proyección, requiere tener en cuenta los siguientes aspectos generales:

- Establecimiento de especificaciones de los componentes del sistema en función

de las características finales de la unidad de obra.

- Preacondicionado de las superficies a proyectar en caso necesario.
- Condiciones - ambientales durante la aplicación y preacondicionamiento de componentes.
- Operaciones de preparación de componentes y acondicionamiento de la pistola de proyección, con verificación de los parámetros de la espuma obtenida así como del aspecto de las capas de acabado.

5.1.3.2 Establecimiento de especificaciones de los componentes del sistema en función de las características finales de la unidad de obra

Previamente al inicio de cada trabajo se observarán las pautas siguientes:

- Elección de los componentes. Al efecto se utilizarán los componentes de la densidad contratada.
- Se recomienda que en la elección de los sistemas se opte por aquellos que estén provistos de una certificación de calidad (en el mercado español más del 90%).

¹ Al respecto y como documentación se ha contemplado la revista: Journal of thermal insulation and building envelopes. Volumen 21. Abril de 1998.

- En caso de cambio de suministrador se verificará las características de adecuación del sistema.

5.1.3.3 El preacondicionado de las superficies a proyectar

La espuma de poliuretano presenta buena adherencia en contacto con la mayor parte de los materiales de construcción; no obstante, las superficies sobre las que se vayan a realizar las proyecciones deben estar limpias, secas y ausentes de grasas y aceites, así como desprovistas de capas de herrumbre o de material envejecido. Las superficies de hormigón deberán limpiarse de la lámina de lechada superficial donde ésta esté presente. A los efectos, se utilizarán cepillos adecuados.

Una vez limpias las superficies, se recomienda el uso de sustancias imprimadoras adherentes donde se prevea o no se tenga garantizada la adherencia. En el caso de láminas asfálticas se verificará el tipo de acabado que puede ser, bien de protección mineral, bien metálica (aluminio gofrado) o con película de polietileno. La adherencia de la espuma rígida de poliuretano sobre la protección mineral es suficiente. Cuando la protección sea metálica será necesario dar una imprimación. Si la película fuera de polietileno (antiadherente por excelencia) bastará con flamearla con soplete para conseguir una buena adherencia de la espuma. Será necesario que la adherencia de las telas al sustrato esté garantizada en toda la superficie, ya que de lo contrario se pueden formar bolsas con el consiguiente riesgo de que se puedan generar fisuras, perdiendo por esta causa la propiedad de impermeabilización.

Las superficies de hormigón deben de tener un curado mínimo de 28 días o humedad superficial máxima medida del 20%. En ningún caso la humedad superficial de la superficie a proyectar superará el 20%.

Para eliminar la grasa o aceite sobre las superficies se recomienda utilizar una solución de fosfato trisódico, terminando la operación con un lavado con agua.

Las zonas con presencia de herrumbre difícil de cepillar deben ser tratadas con una imprimación de cromato de cinc. En zonas con presencia de adhesivos de parafina u otros materiales de reparación de sospechosa adherencia con la espuma, se debe proceder a eliminar tales materiales. Para el lavado de acabado se recomienda utilizar una presión de 14 kPa.

5.1.3.4 Condiciones ambientales durante la aplicación y preacondicionamiento de componentes

Antes de proceder a la proyección se tendrá en cuenta que:

- Las condiciones de temperatura ambiente desfavorables comienzan a partir de 45 °C y por debajo de 5 °C, condiciones de temperatura superficial que deberán contemplarse a su vez en el sustrato.
- Las condiciones de humedad relativa desfavorables para la proyección comienzan a partir del 85% de humedad relativa ambiente y, en lo que respecta al sustrato, si este es poroso, la humedad medida sobre el mismo no deberá superar el 20%; en el caso de sustratos no porosos se deberá verificar que no están a una temperatura inferior a la de rocío. Esta verificación también se tendrá en cuenta en la aplicación entre capas de espuma, ya que es una superficie continua impermeable. En los casos que se den estas circunstancias, se producirían condensaciones superficiales y, por tanto, la humedad sería del 100%, en cuyo caso se podrían producir despegues o mala adherencia entre capas.
- Las condiciones de viento durante la aplicación deberán ser las correspondientes a una velocidad inferior a 30 km/hora u 8 m/s. Estas condiciones deberán observarse cuando no se utilizan pantallas de protección.
- En el caso de que los productos hayan quedado sometidos a condiciones de temperaturas bajas (inferiores a 10 °C) se recomienda el precalentamiento de los bidones mediante bandas calefactoras, debiendo seguir las indicaciones que

al respecto proporcione el fabricante del sistema.

5.2 PLANCHAS DE POLIURETANO CONFORMADO

Las planchas aislantes y los bloques de espuma fabricados de espuma de poliuretano rígida de acuerdo con la norma UNE-EN-13165 son apreciados en el sector de la construcción, especialmente por sus excelentes características de aislamiento térmico y sus ventajosas propiedades mecánicas.

Los revestimientos flexibles se fabrican generalmente con:

- lámina de aluminio
- película compuesta



Planchas aislantes de poliuretano conformado

Se eligen distintos revestimientos adecuados para la aplicación a la que se destinan las planchas aislantes. Los revestimientos pueden servir como barrera de vapor, impermeabilización contra la humedad, superficie óptica o protección contra daños mecánicos. Las planchas se ofrecen con distintos perfiles en los bordes, por ejemplo, machihembrado, media-madera o recto.

Las planchas aislantes de poliuretano con revestimientos flexibles se fabrican también conjuntamente con revestimientos rígidos como paneles aislantes compuestos. En estos casos, se pegan a las planchas aislantes tableros de madera u otros materiales para aplicación en paredes como, por ejemplo, placas de yeso laminado.

5.2.1 Fabricación de planchas o secciones a partir de bloques de poliuretano

A partir de la fabricación de un bloque de poliuretano rígido, se cortan en planchas (por ejemplo, planchas para cubiertas planas o inclinadas) o secciones (por ejemplo, cuñas para áticos/buhardillas o aislamiento de tuberías –coquillas).

Es posible pegar revestimientos adecuados a las planchas cortadas para formar paneles sándwich o laminados de diversos tipos para distintas aplicaciones.

Planchas aislantes, cuñas para áticos y aislamiento para tuberías fabricados a partir de bloques de espuma de poliuretano.

5.3 PANELES SÁNDWICH DE POLIURETANO

El panel sándwich de poliuretano inyectado es un producto de construcción compuesto de una parte central de espuma rígida de poliuretano adherida a dos paramentos generalmente metálicos. A efectos de sus usos y propiedades es considerado un producto o elemento de construcción único.

El poliuretano se forma a través de una reacción exotérmica en la que se adiciona polioliol, isocianato, agente hinchante y aditivos, formando un producto que tiene una densidad entre 40 y 50 kg/m³. La inyección de estos componentes dentro los paramentos permite una unión uniforme y duradera sin necesidad de adhesivos.

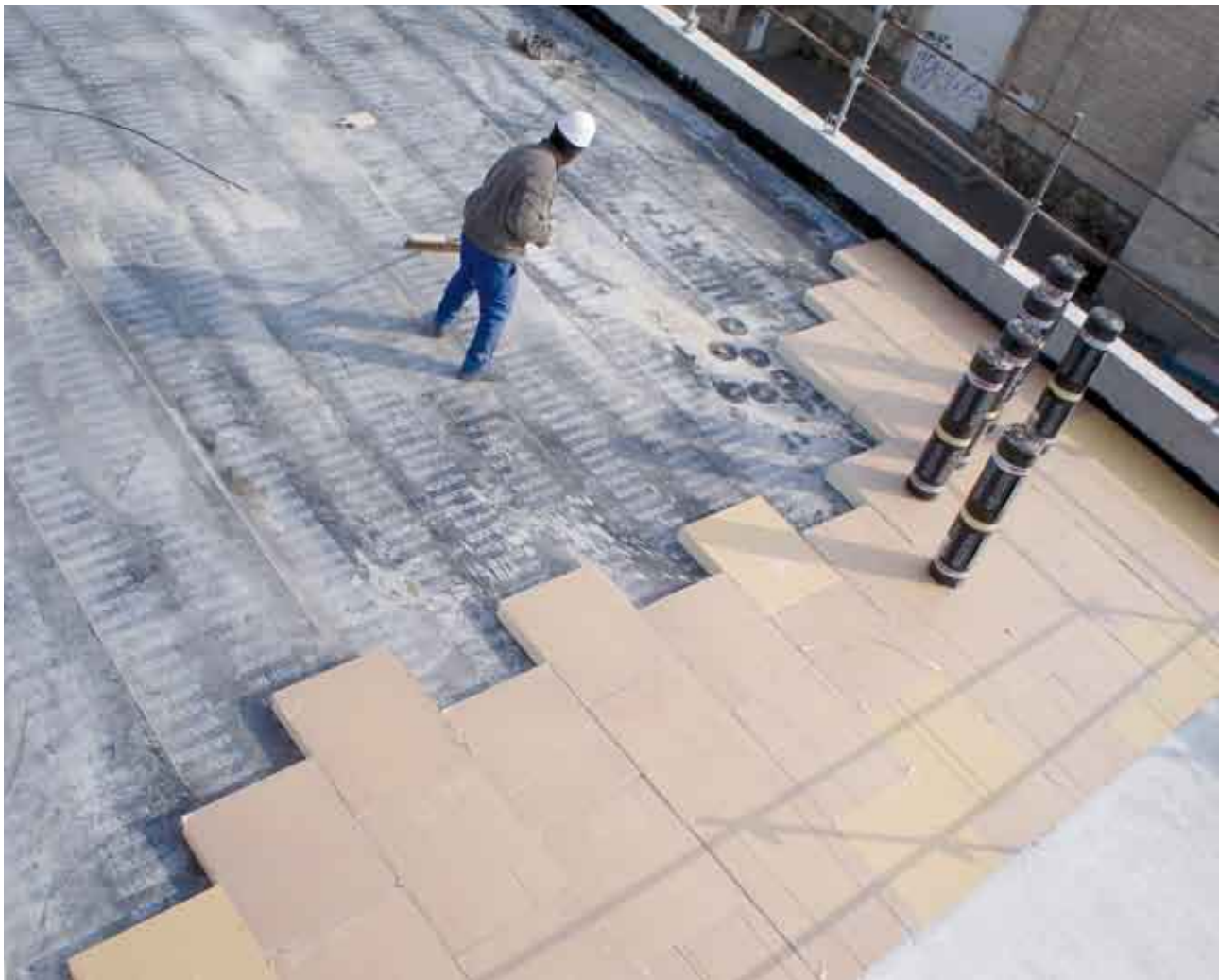
Hay disponibilidad en el mercado de paneles con paramentos de acero, acero inoxidable, aluminio, cobre y madera. Estos paramentos se pueden elegir en acabados tipo poliéster, PVDF, PVC, plastisoles o galvanizados; en función de la agresividad –humedad, temperatura y salinidad– de la zona donde se instale el panel para garantizar la mayor durabilidad. Además, todos estos acabados están disponibles en una amplia gama de colores –clásicos o metalizados– para adaptarse a los requisitos estéticos del cliente.

Los paneles sándwich de poliuretano son especialmente adecuados para aplicaciones de

cubiertas y fachadas en edificios industriales y en cámaras frigoríficas donde son el producto líder, en edificios terciarios (centros comerciales, centros deportivos,...) y en vivienda, donde están entrando con una gran rapidez y satisfacción tanto en rehabilitación como en obra nueva.

Se utilizan paneles sándwich de poliuretano en la construcción de:

- Naves industriales
- Aeropuertos
- Edificios de administración
- Casetas y casas prefabricadas
- Vestíbulos de exhibición
- Hoteles
- Recintos feriales
- Laboratorios y salas blancas
- Quirófanos
- Salas de pinturas
- Centrales eléctricas
- Plantas de reciclaje
- Polideportivos
- Grandes superficies comerciales
- Plantas incineradoras de desechos
- Fachadas de oficinas
- Cubiertas de viviendas
- Cámaras frigoríficas
- Salas de conservación
- Túneles de congelación
- Salas de proceso
- Salas blancas



Aplicación en cubierta plana de edificio de viviendas

Las propiedades más relevantes de los paneles sándwich de poliuretano son:

- Gran capacidad aislante, teniendo un coeficiente de conductividad térmica inferior a $0,025 \text{ W/(mK)}$, siendo éste duradero en el tiempo. Por diseño, el poliuretano está protegido con una capa metálica que impide la degradación de la conductividad térmica en el tiempo.
- Baja densidad que oscila entre 9 y 20 kg/m^2 (en función del espesor del núcleo aislante y de las chapas metálicas).
- Su bajo peso y su buen comportamiento a flexión lo hace idóneo como material de construcción en caso que hayan movimientos sísmicos.
- Capacidad autoportante: gracias al efecto sándwich son capaces de soportar su propia carga, permitiendo estructuras muy livianas.
- Comportamiento ante el fuego: el comportamiento del panel sándwich de poliuretano ante el fuego es bueno al estar el material aislante protegido por acero. En función de la espuma y del diseño, y según la norma UNE-EN 13501-1, tenemos paneles desde la clasificación Bs2do hasta Ds3do.
- Estanqueidad: por sus paramentos metálicos y su sistema de fijación, las construcciones con paneles resultan estancas a la humedad y al aire. Además, la estructura de celda cerrada de la espuma rígida de poliuretano garantiza la estanqueidad del núcleo aislante. La chapa actúa como barrera de vapor evitando condensaciones intersticiales.

Las propiedades típicas del panel sándwich de poliuretano son: -

| | | |
|---|--------|--------------------------------------|
| Densidad de la espuma | | $40 \pm 2 \text{ kg/m}^3$ |
| Resistencia a la tracción | | $0,1 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistencia a la compresión | | $0,1 \text{ N/mm}^2$ |
| Peso | 30 mm | $11-12 \text{ kg/m}^2$ |
| | 100 mm | $14-15 \text{ kg/m}^2$ |
| | 200 mm | $17-18 \text{ kg/m}^2$ |
| Conductividad térmica | | $\leq 0,025 \text{ W/mK}$ |
| Factor U | 30 mm | $0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| | 100 mm | $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| | 200 mm | $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Reacción al fuego | | B, C, D (según EN 13501-1) s1, do |
| Luces aproximadas de panel entre dos apoyos con carga repartida de 100 kg/m^2 | 30 mm | 2,8 m |
| | 100 mm | 5-5,5 m |
| | 200 mm | 7,5-8,5 m |

El hecho que los paneles sándwich de poliuretano sean un elemento prefabricado y autoportante reduce considerablemente el tiempo de construcción, haciendo el proceso más rentable, económico y medioambientalmente eficiente. Los paneles sándwich de poliuretano son un producto normalizado (UNE-EN 14509).

6

SOLUCIONES DE REHABILITACIÓN

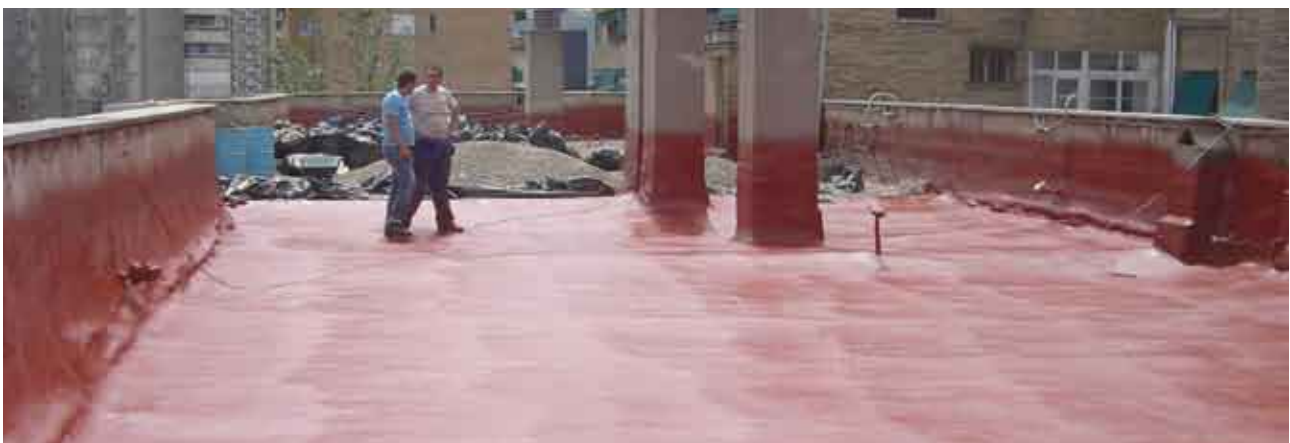
En rehabilitación conviene tener presente que las medidas de seguridad deben extremarse puesto que, en general, se desconoce el estado en que se encuentra o encuentran los elementos de la cubierta de que se trate.

En general las actuaciones de rehabilitación deben ser consecuencia de un estudio previo detallado del estado de la cubierta en cuestión. Las cubiertas en pendiente tienen de particular que cuando es necesaria la rehabilitación suele ser por filtraciones o entradas de agua en el espacio subyacente; pero la cubierta puede estar

deteriorada sin que se manifiesten tales entradas de agua, basta observar a simple vista el estado en que se encuentran determinados elementos de la misma, bien sea por la acción de la contaminación ambiental, bien sea por la acción prolongada de la radiación ultravioleta, o bien se trate sencillamente de su envejecimiento.

En el caso de las cubiertas planas, los deterioros tienen que ser tratados previamente, de acuerdo con la naturaleza del daño, a la realización de la proyección de espuma. A continuación se exponen algunos:

6.1 CUBIERTA PLANA. PROYECCIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO Y PROTECCIÓN CON ELASTÓMERO



Cubierta aislada con espuma proyectada y protegida con elastómero

Descripción

Una vez reparada la cubierta en las zonas donde se requiera, se procede a proyectar espuma de poliuretano siguiendo las especificaciones oportunas y seguidamente se aplica una capa de elastómero que protege al aislamiento de radiación UV e incrementa la impermeabilización de la cubierta.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima aplicada de 45 kg/m³ en cubiertas para garantizar impermeabilidad.
- 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 de poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

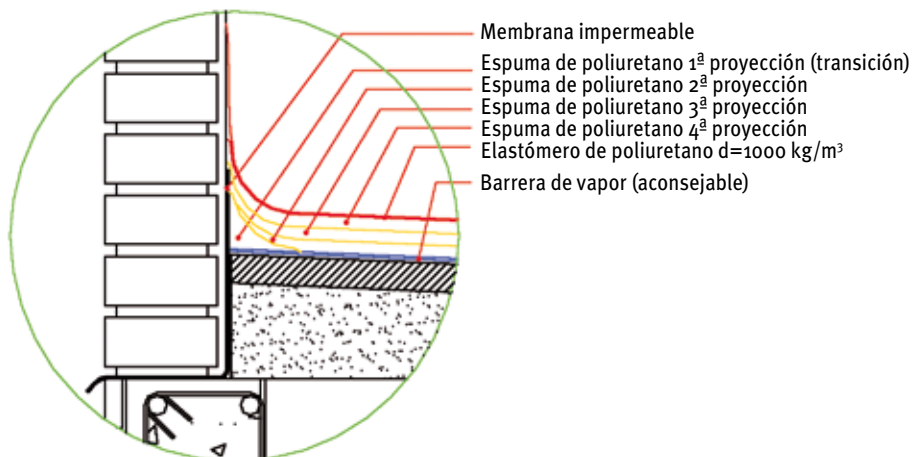
Prestaciones de la solución

Aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización de cubiertas, eliminando las juntas.

Recomendaciones

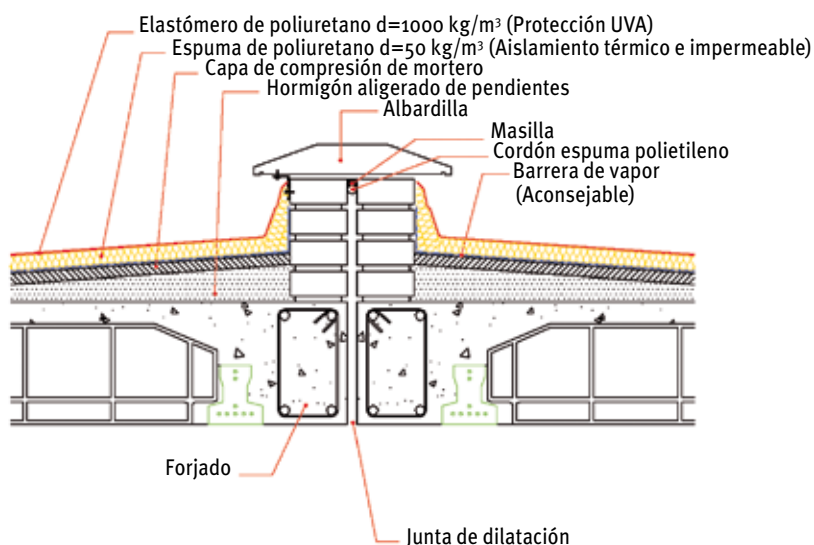
Caso de telas asfálticas

Conviene retirar todo el material cuando se observen las siguientes situaciones: en caso de material no suficientemente adherido, puesto que después de proyectado encima puede desprenderse, y en caso de material con bolsas o roturas, debido a las tensiones que introduce la espuma.



Caso del baldosín tipo catalán

Generalmente, este tipo de cubiertas suele presentar deterioros de la superficie embaldosada. Conviene levantar todas aquellas zonas donde los deterioros aparezcan manifiestos. En la zona levantada se realizará una capa de nivelación de forma que, una vez seca, sirva como sustrato para la proyección. Se cuidará especialmente la limpieza de toda la cubierta previa a la proyección.



Caso de cubiertas con capa de rodadura o protección pesada

En este caso conviene levantar las zonas superficiales dañadas (baldosas rotas, pasillos agrietados, etc.).

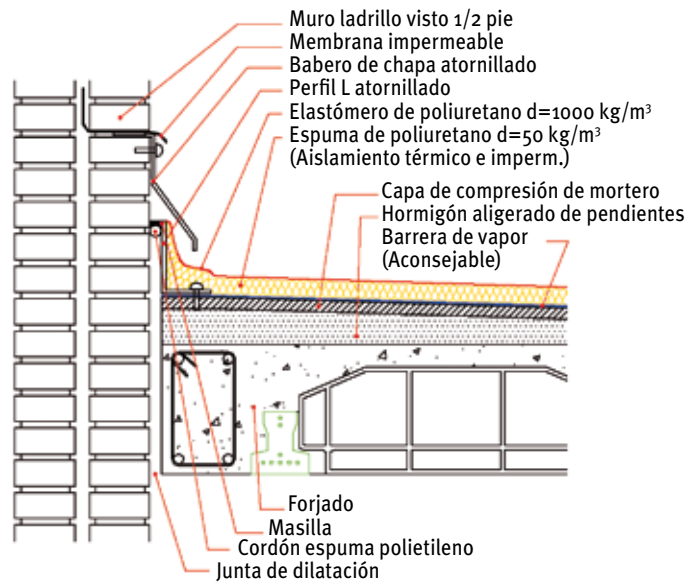
Caso de cubiertas de grava

En este caso hay que tener en cuenta que, bien desde el origen o bien con el paso del tiempo, el material de naturaleza inorgánica u orgánica suele estar presente entre la grava, por ello es menester que como parte de la obra se contemple efectuar un cribado y lavado de la grava antes de depositarla nuevamente encima del aislamiento de poliuretano. Además de las operaciones señaladas y previamente a la proyección, es imprescindible realizar la limpieza y preparación de la superficie del sustrato. Se recomienda que con el fin de no cargar la estructura del forjado, al retirar la grava, acumularla en distintos puntos de la cubierta.

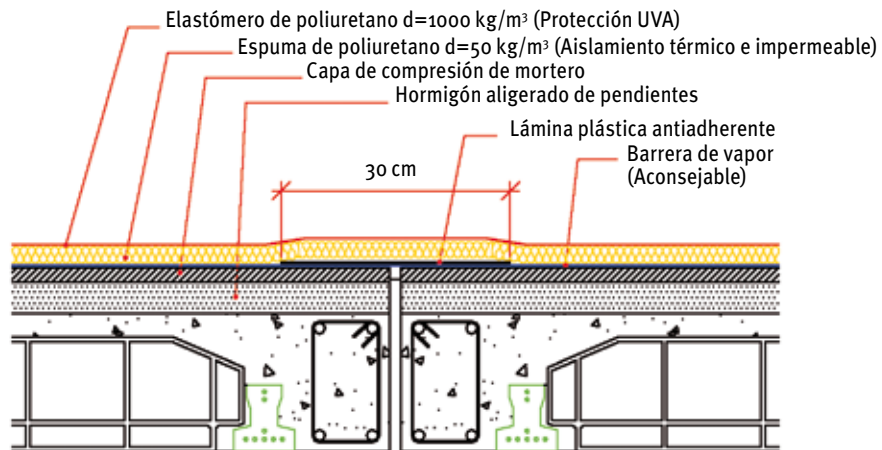
La rehabilitación del peto de cubierta

En el caso de petos enfoscados hay que tener en cuenta que en rehabilitación suelen ser elementos muy deteriorados por el paso del tiempo y las inclemencias meteorológicas, de tal manera que el enfoscado primitivo suele presentar desconchones y desmoronamientos por falta de cohesión y adherencia. En estos casos se pondrá especial cuidado en picar y volver a enfoscar toda la superficie del lienzo deteriorado antes de proceder a proyección alguna.

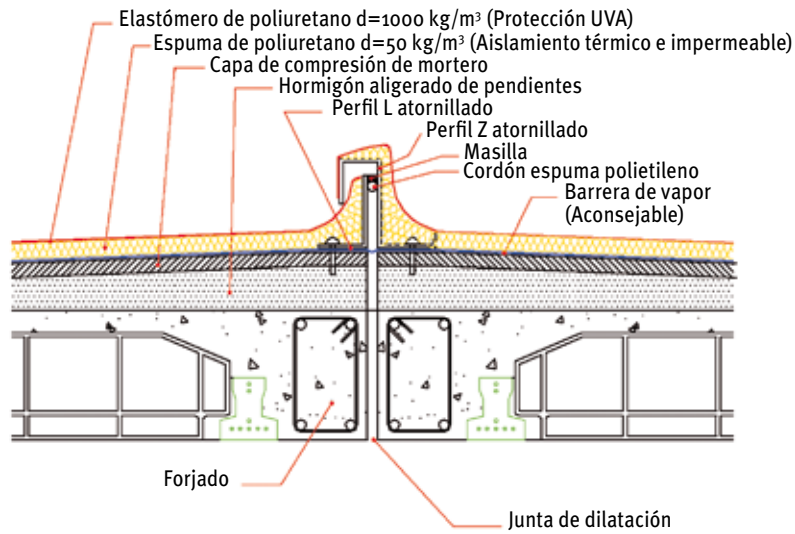
Las albardillas suelen presentar, en general, una patología muy definida puesto que se colocan "a hueso" quedándose sin impermeabilizar cuando se hace la obra nueva, por lo que es conveniente precondicionar estas partes antes de proceder a realizar las proyecciones; conviene retirar los elementos rotos o corroídos con el fin de proceder, tras una limpieza, a realizar las protecciones y acabados con poliuretano.



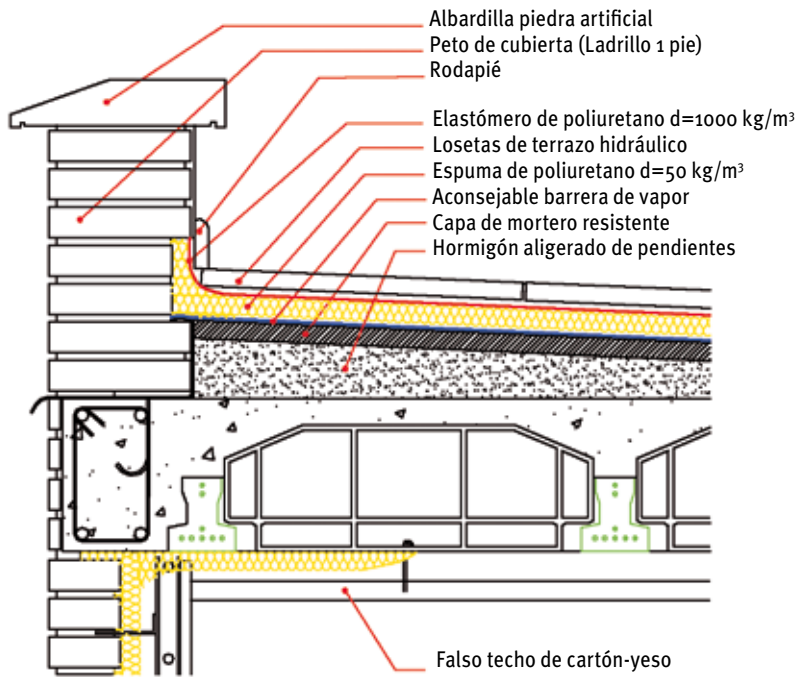
Detalle de encuentro con elemento estructural de soporte con dilatación libre



Detalle para salvar juntas de dilatación



Detalle de junta de dilatación con elemento metálico



Detalle de integración de la proyección en peto de cubierta con rodapié y escuadrado de corrección de puente térmico

6.2 CUBIERTA INCLINADA. PROYECCIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO SOBRE TEJA Y PROTECCIÓN CON ELASTÓMERO



Descripción

El soporte inicial es la cubierta de teja original. Sobre la misma se realiza la proyección de espuma de poliuretano siguiendo las recomendaciones específicas para el tipo de soporte y posteriormente se proyecta el elastómero de poliuretano que protege al aislamiento de radiaciones UV e incrementa la impermeabilización de la cubierta.

Esta forma de rehabilitar térmicamente una cubierta de teja es sin duda la más sencilla, económica y eficaz, porque no requiere en la práctica de tratamientos previos del soporte, ni de medios auxiliares especiales.

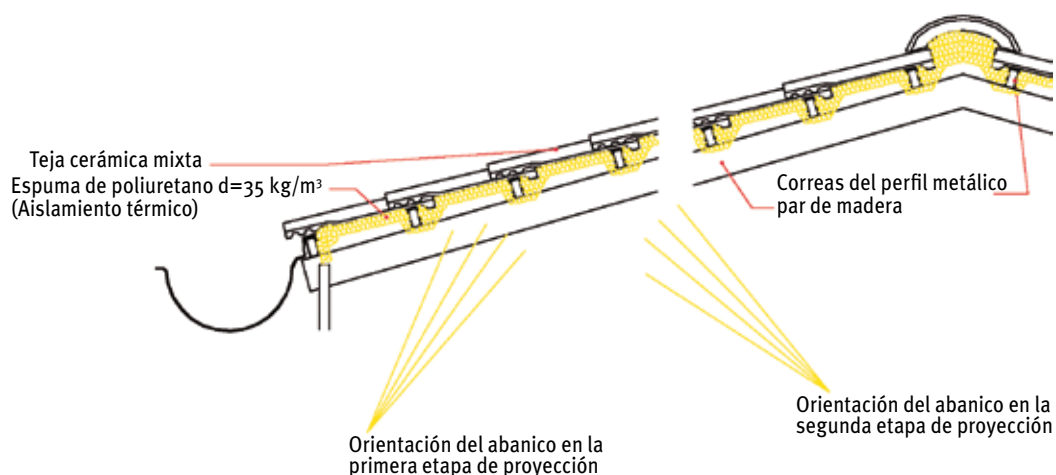
Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima de 45 kg/m³ en cubiertas para garantizar impermeabilidad.
- Protección: elastómero de poliuretano; capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm), densidad 1.000 kg/m³ con coloración. Aporta protección UVA a la espuma de poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

Prestaciones de la solución

Aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización de cubiertas, eliminando las juntas.

6.3 CUBIERTA INCLINADA. PROYECCIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO BAJO TEJA



Descripción

Cuando el bajo cubierta es accesible se puede realizar esta solución constructiva que consiste en la proyección de espuma de poliuretano en la superficie inferior del tejado.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano proyectada; capa de espesor mínimo de 40 mm. Densidad mínima de 35 kg/m³.

Prestaciones de la solución

Aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento.

Recomendaciones

En ningún caso se puede considerar esta solución constructiva como de impermeabilización de cubierta. La calidad de la teja debe quedar garantizada en el aspecto relativo a las tensiones que se producirán cuando se manifiesten ciclos de calentamiento-enfriamiento en las mismas, ya que la disipación térmica queda dificultada por el aislamiento del trasdós.

La proyección debe llevarse a efecto ejecutándola con un sentido de avance en la dirección de elevación de la cubierta, con el fin de que no pe-



netre la fase líquida entre las tejas, ya que si ello ocurriera, la expansión de la espuma produciría un desplazamiento entre las mismas. Una vez proyectadas así las primeras capas y comprobando que las tejas están unidas con la espuma, se cambiará el sentido de la proyección, para conseguir un sellado idóneo de las uniones.

La estabilidad dimensional de la espuma proyectada depende de la densidad de la misma, con este fin se recomienda que la densidad mínima sea de 35 kg/m³. Dependiendo del formato de la teja el sellado se conseguirá con diferente espesor de proyección. Con menos de 4 cm no se consigue un sellado adecuado.

Caso de “renovación del tejado”

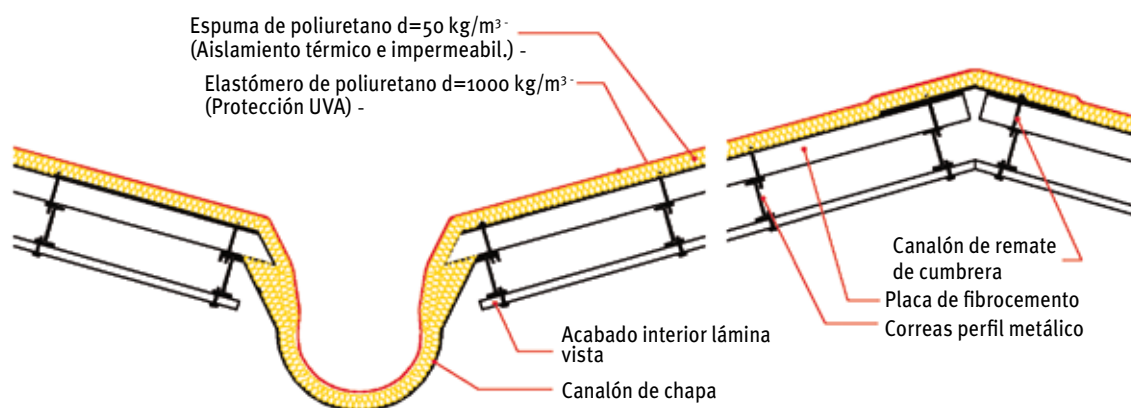
Cuando se va a realizar la operación de “retejado” o renovación completa de la cubrición de que se trate es el momento óptimo para incluir el aislamiento térmico.

En este caso se procederá a la proyección de espuma de poliuretano sobre el soporte del faldón o bien a la colocación de planchas de poliuretano conformado antes de proceder a la fijación de las tejas, pizarras o cualquier otro elemento de cubrición que vaya adherido, fijado sobre rastreles, clavado o con cualquier otro elemento de fijación.





6.4 CUBIERTA INCLINADA. PROYECCIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO SOBRE CUBIERTA DE FIBROCEMENTO



Descripción -

En este caso, el empleo de la técnica de espuma proyectada es aconsejable como solución de reparación.

La cubierta de fibrocemento presenta con el paso del tiempo unas transformaciones y alteraciones que se manifiestan en su fragilización. Con el fin de realizar una cubierta resistente aprovechando la cubierta de fibrocemento envejecida, mediante la proyección de espuma rígida de poliuretano sobre la misma se consigue un elemento constructivo con resistencia suficiente para asegurar que tal fragilidad deje de ser un riesgo para realizar tareas sobre la nueva superficie. Además de garantizar la rehabilitación del fibrocemento de la cubierta, mediante este siste-

ma se asegura una protección integral, así como su impermeabilidad y un magnífico aislamiento térmico, evitando la dispersión de partículas de amianto que son carcinogénicas.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano proyectada; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima aplicada de 45 kg/m³ para garantizar impermeabilidad.
- 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 de poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

Prestaciones de la solución

Aporta rigidez a la cubierta, estanqueidad y continuidad en aislamiento e impermeabilización.

Recomendaciones

Previamente a las tareas de proyección las cubiertas de fibrocemento se limpiarán adecuadamente, mediante el empleo de productos químicos, cepillados o lavados con agua a presión, siendo a veces necesaria la combinación de ambos sistemas. Se cortarán mediante cizalla, radial u otra herramienta, la parte sobrante de los tornillos que sobresalgan más de 1 cm con el fin de que la fijación quede cubierta por la capa de aislamiento.

Las tareas de rehabilitación se pueden llevar a cabo, en la mayoría de los casos, sin necesidad de desalojo de los espacios bajo cubierta, ya que todas las actuaciones se realizan por el exterior.

Con el fin de que la evacuación de agua quede garantizada y evitar su entrada entre el para-

mento y las ondas de la lámina de fibrocemento se recomienda integrar la proyección con los canalones, para lo que es necesario cortar el fibrocemento sobrante realizando un sellado previo entre la onda de la lámina y el propio canalón, para posteriormente efectuar la proyección integrando el canalón en la cubierta. (Ver figura).

Las operaciones de limpieza y puesta en obra en cubiertas envejecidas requieren un estudio cuidadoso de las condiciones de seguridad ya que debido a la fragilidad del material se pueden producir accidentes de consecuencias graves. A los efectos se pueden prever puntos de sujeción en zonas de tirantes, de elementos de la armadura, líneas de vida, etc., que garanticen suficientemente la sujeción de equipos de protección individual. Asimismo puede ser necesario el uso de plataformas, pasarelas, etc. que garanticen el acceso, el reparto de cargas y el tránsito sobre la cubierta.



Caso de cubiertas de chapa

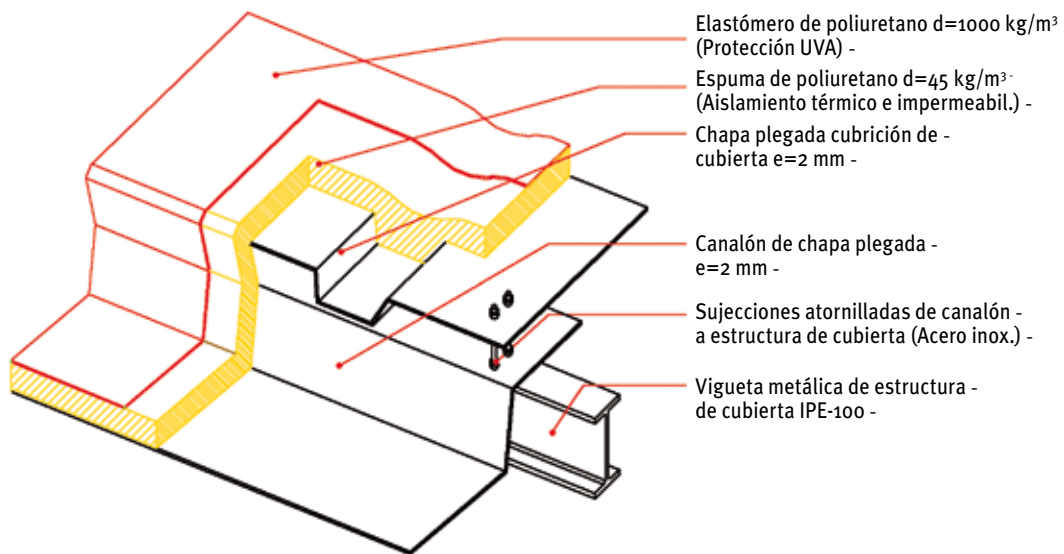
Tanto en el caso de obra nueva como en rehabilitación las cubiertas de chapa deben ser limpiadas adecuadamente siempre que no se tengan garantías suficientes de su estado superficial.

Las cubiertas de chapa, con el paso del tiempo y sin mantenimiento, presentan deterioros y por ello hay que proceder a su rehabilitación de la misma forma que en el caso de cubiertas de fibrocemento. En caso de presentar oxidación se procederá a limpiar y a aplicar pinturas de protección o productos reactivos con el óxido.

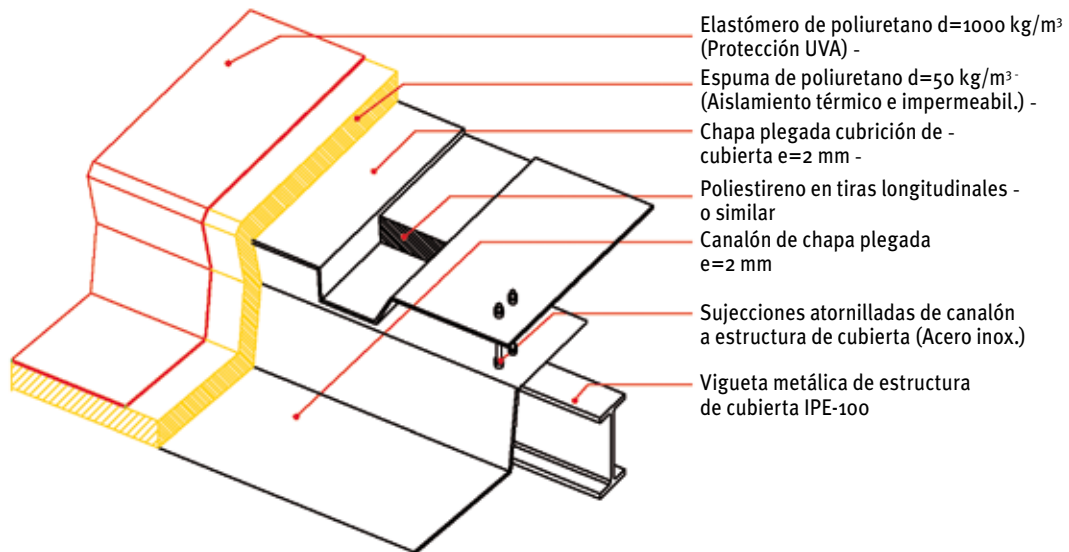
En este tipo de cubiertas será necesario realizar una prueba de adherencia y en caso de que no

sea adecuada se procederá a la aplicación de una imprimación adherente.

La proyección se debe realizar cuidando que las grecas de la chapa queden rellenas. En las figuras siguientes se pueden observar detalles de realización.



Proyección de poliuretano integrando las grecas



Proyección, previo relleno de grecas en cubierta

Caso de granjas con cubierta de chapa

Aplicación por el interior: estos comentarios pueden ser válidos para otros casos similares, piscinas climatizadas con patologías de corrosión por vapores de cloro, etc.

Este es un caso que puede desencadenar una sucesión de patologías. La problemática arranca por tratarse de cubierta de chapa que es barrera de vapor. Por otro lado, se da la circunstancia de que se suele tener una gran humedad relativa en el interior, en este caso es más que probable que tengamos condensaciones intersticiales, consecuentemente perderemos gran parte del poder de aislamiento de la espuma y además, por efecto de la humedad en sí mis-

ma y que en gran medida es proveniente de los purines, tendremos corrosión en la chapa; esto desencadena un desprendimiento de la espuma arrastrando la corrosión y generándose bolsas que podrán presentar fisuras y que serán más o menos grandes en función del tiempo transcurrido y las condiciones interiores. En estos casos será necesario estudiar la solución en dos vertientes, por un lado se verá la conveniencia de incorporar barrera de vapor o dotar de una ventilación en la parte alta o la combinación de ambas soluciones. En el caso de tratarse de chapa galvanizada, para mejorar la adherencia, será necesaria la aplicación de una imprimación, normalmente una solución fosfatante.



6.5 FACHADAS. AISLAMIENTO POR EL INTERIOR

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: 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.).

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano proyectada; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima de 35 kg/m³.

Prestaciones de la solución

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

6.6 FACHADAS MEDIANERAS

Descripción

Tanto en obra nueva como cuando por derribo del edificio adyacente tenemos 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 conseguimos 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 tres primeros metros desde su base, con el fin de proteger la solución de agresiones externas.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano proyectada; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima de 35 kg/m.
- 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 de poliuretano e incrementa la impermeabilidad y la consistencia.



6.7 FACHADAS. AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR

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

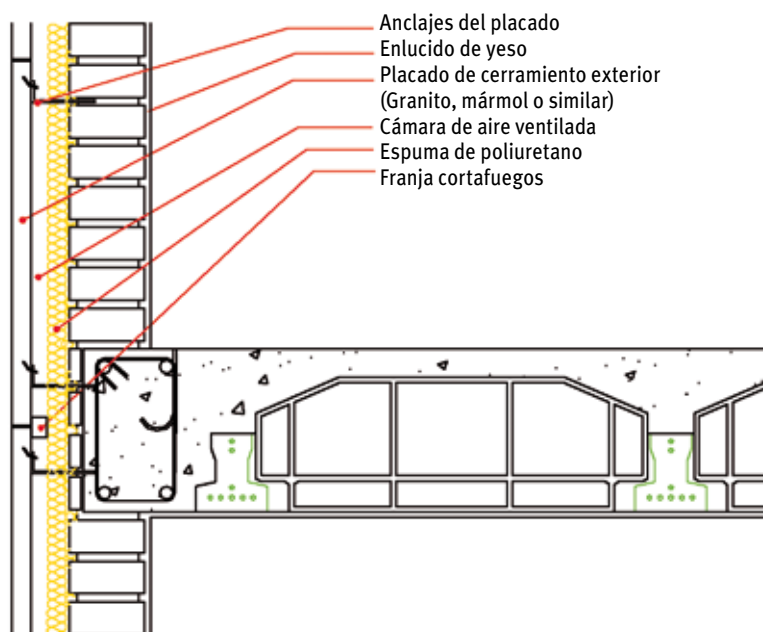
el entramado metálico y a continuación colocar las piezas que forman el revestimiento de la fachada.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano proyectada; capa de espesor mínimo de 30 mm. Densidad mínima de 35 kg/m³.

Prestaciones de la solución

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



6.8 FACHADAS. INYECCIÓN EN CÁMARAS

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.

Elementos del sistema

- Aislamiento: espuma de poliuretano inyectada de baja densidad, 12 kg/m³ inicial, pudiendo alcanzar de 18 a 25 kg/m³ apli-

cada y λ 0,038 W/(m·K) relleno con un espesor mínimo de 40 mm.

Prestaciones de la solución

Además de aislamiento térmico, aporta rigidez a la fachada.

Recomendaciones

Este tipo de solución constructiva requiere una atención especial, 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 a arriba lentamente ya que el material específico para estos casos, de baja densidad (12 kg/m^3 en expansión libre) y con un periodo 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.

6.9 SOLUCIONES CON PLANCHAS CONFORMADAS DE POLIURETANO

6.9.1 Cubiertas planas

6.9.1.1 No transitables autoprotegidas

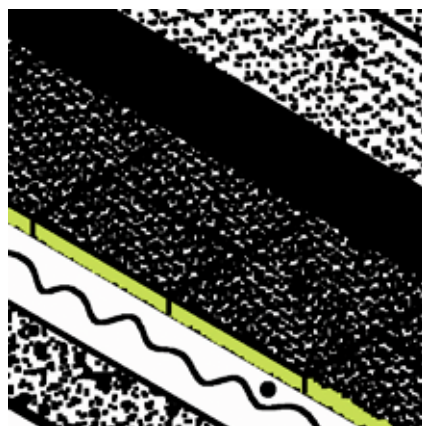
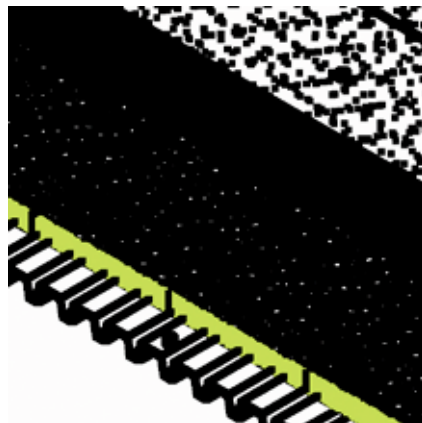
Elementos del sistema

Sobre el soporte saneado se instalarán las siguientes capas:

- *Barrera de vapor* adherida al mismo, en el caso que se precise (normalmente se precisa en soportes de hormigón o madera). Si la barrera es una lámina bituminosa con armadura de polietileno o film de aluminio se deberá adherir al soporte previa imprimación de este.
- *Aislamiento térmico en planchas conformadas*, ancladas a la barrera de vapor bituminosa mediante la aplicación de fuego sobre la barrera o ancladas mecánicamente. El número de fijaciones vendrá determinado por el tipo de soporte y de la fijación, situación de la cubierta y zona eólica.
- *Membrana impermeabilizante*, anclada mecánicamente al soporte o adherida. En

este caso las planchas de aislamiento irán terminadas en aluminio o velo de vidrio en ambas caras.

- *Membrana impermeabilizante adherida*, en este caso las planchas de aislamiento serán con terminación superior de velo de vidrio bituminado, para facilitar la adhesión de la membrana.

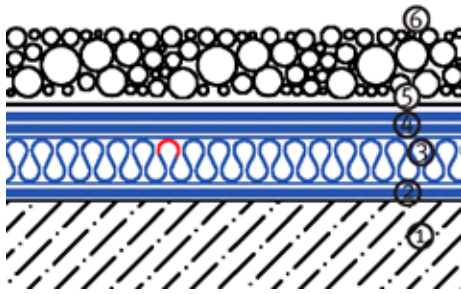


6.9.1.2 No transitables con protección pesada

Elementos del sistema

Sobre el soporte (1) saneado se instalarán las siguientes capas:

- Barrera de vapor adherida (2).
- Capa aislante con planchas de poliuretano (3).
- Membrana impermeabilizante (4).
- Capa antipunzonante y separadora (5).
- Capa de terminación y protección, grava (6).



6.9.1.3 Transitables con protección pesada

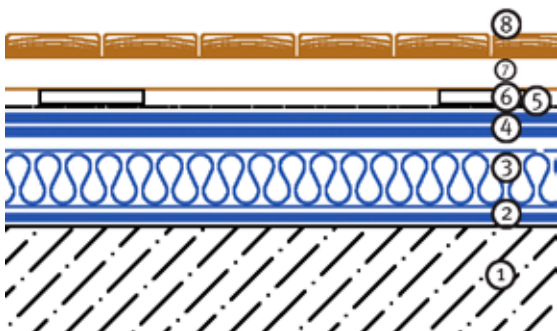
Elementos del sistema

Sobre el soporte (1) saneado se instalarán las siguientes capas:

- Barrera de vapor adherida (2).
- Capa aislante con planchas de poliuretano conformado (3).
- Membrana impermeabilizante (4).
- Capa antipunzonante y separadora (5).
- Capa de terminación y protección (6).

Las terminaciones más habituales son: baldosa cerámica, baldosa sobre plots y madera (8) sobre plots (7).

En el caso de terminación sobre plots, encima de la capa antipunzonante y separadora se realizará una capa de reparto a base de mortero armado de espesor mínimo de 3 cm que ha de servir como superficie de apoyo de los plots.



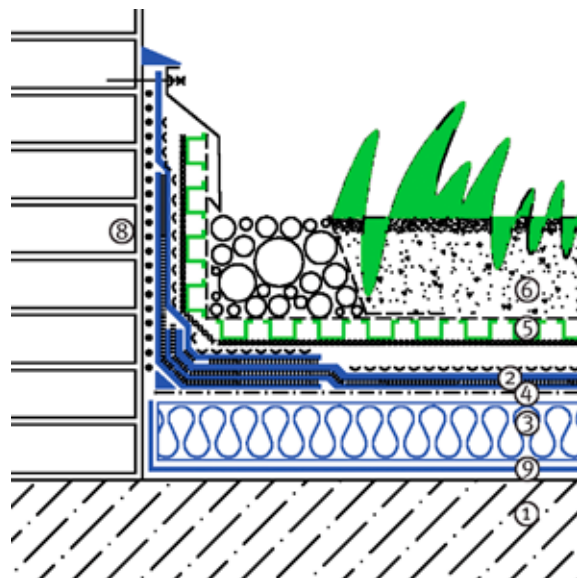
6.9.1.4 Cubiertas ajardinadas

En el tipo cubierta extensiva (de bajo mantenimiento), la solución de cubierta convencional resulta idónea para mejorar la resistencia a la succión del viento.

Elementos del sistema

Sobre el soporte (1) saneado se instalarán las siguientes capas:

- Barrera de vapor adherida (2).
- Capa aislante con planchas - conformadas de poliuretano (3).
- Membrana impermeabilizante - adherida (4).
- Capa drenante y retenedora de agua (5).
- Capa de terminación y protección (6).



6.9.2 Cubiertas inclinadas

6.9.2.1 Cubiertas de fibrocemento

La rehabilitación de este tipo de cubiertas presenta la dificultad de que es un soporte muy frágil y tóxico (debido al contenido de amianto).

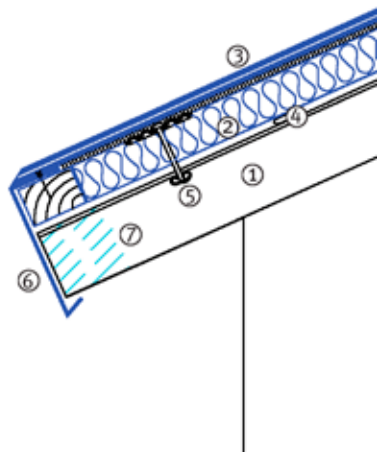
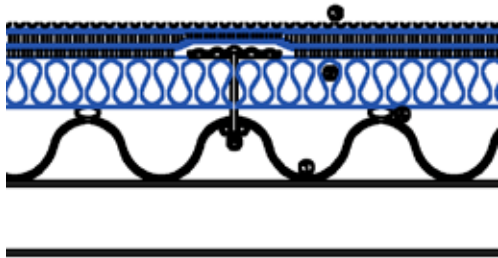
Elementos del sistema

Sobre el soporte (1) saneado se instalarán las siguientes capas:

- Formación de corta-fuegos con mortero perlita, como mínimo en el alero, a mitad del faldón y en cumbre.
- Capa aislante con planchas de poliuretano conformado (2), ancladas al soporte mediante adhesivo poliuretánico y remaches.

en flor. Se instalarán en sentido perpendicular a las ondas del fibrocemento, previa instalación de un listón de remate en todo el contorno.

- Membrana impermeabilizante adherida (3).
- Capa de pintura de protección por el interior.

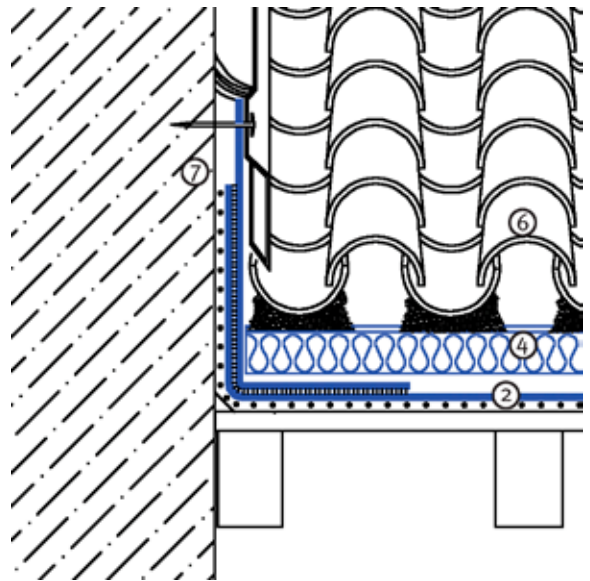


6.9.2.2 Cubiertas de teja amorturada

Elementos del sistema

Sobre el soporte saneado se instalarán las siguientes capas:

- Membrana impermeabilizante autoadhesiva, previa imprimación del soporte.
- Capa aislante con planchas de poliuretano conformado.
- Capa de mortero de cemento armada de espesor mínimo 4 cm.
- Teja amorturada.

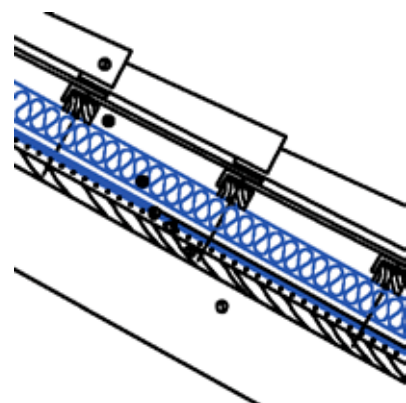


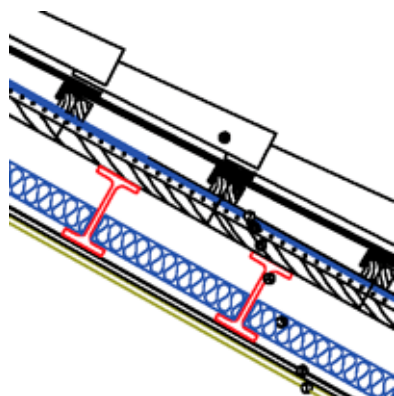
6.9.2.3 Cubiertas de teja enrastrelada, sistema ventilada

Elementos del sistema

Sobre el soporte saneado se instalarán las siguientes capas:

- Membrana impermeabilizante autoadhesiva, previa imprimación del soporte.
- Capa aislante con planchas de poliuretano conformado.
- Enrastrelado con listones de madera tratada en disposición vertical (en sentido de la pendiente) para permitir la ventilación.
- Enrastrelado horizontal a distancia de las tejas.



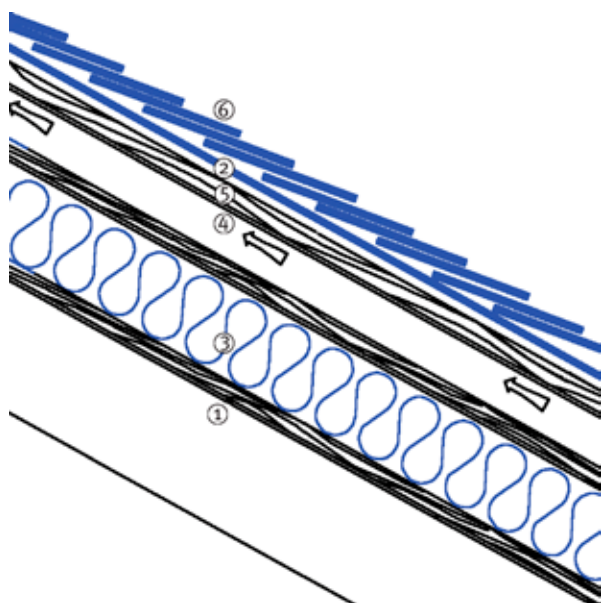


6.9.2.4 Cubiertas con placa asfáltica o placa natural, sistema ventilada

Elementos del sistema

Sobre el soporte (1) saneado se instalarán las siguientes capas:

- Membrana impermeabilizante autoadhesiva (2), previa imprimación del soporte.
- Capa aislante con planchas de poliuretano conformado (3).
- Enrastrelado con listones de madera tratada en disposición vertical (en sentido de la pendiente) para permitir la ventilación (4) (5).
- Formación de soporte placas mediante paneles que permitan el clavado de las placas (6).

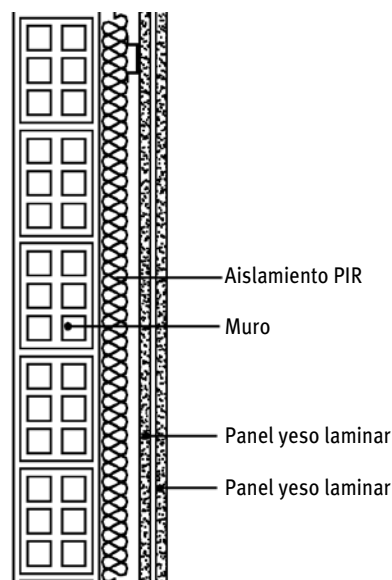


6.9.3 Muros

La aplicación de las planchas conformadas de poliuretano será en cámara de aire, en trasdorado de muros e incluso en contacto esporádico con agua, caso de fachada ventilada.

6.9.3.1 Aislamiento por el interior

En este caso se aporta aislamiento al espacio interior sin actuar en la fachada, al estar la capa de aislamiento ubicada en el interior nos aportará una rápida consecución de la temperatura requerida.



6.9.3.2 Aislamiento por el exterior

En este caso no se puede intervenir por el interior, para no reducir el espacio interior, afectación de terminaciones, muebles, etc.

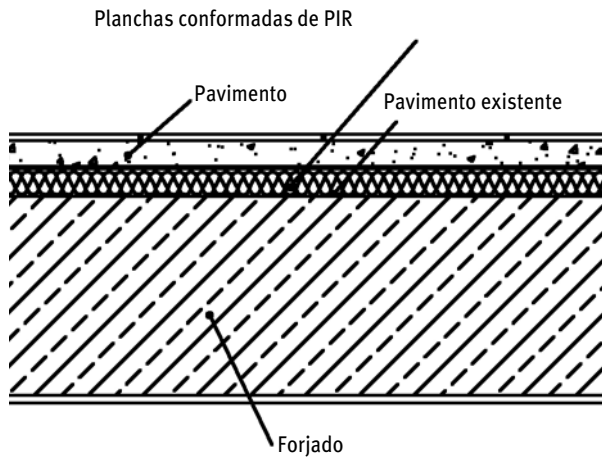
Las planchas de poliuretano conformado con terminación de aluminio aportan una excelente conductividad térmica (0,024 W/mK) y aseguran la continuidad del aislamiento gracias a la terminación del canto de las planchas mediante machiembrado.

6.9.4 Suelos y techos uso peatonal privado

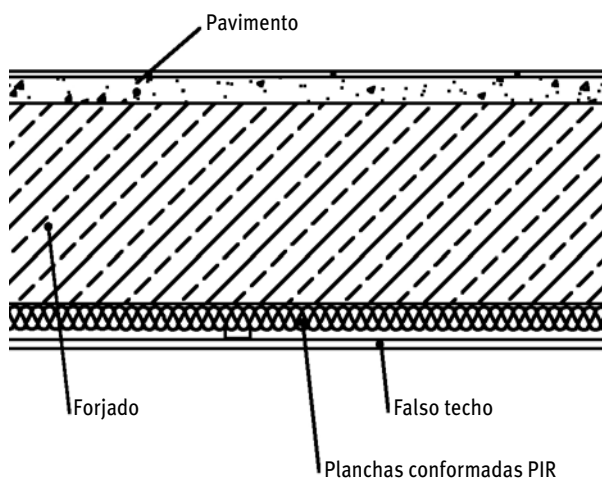
Las planchas conformadas de poliuretano se colocan al tresbolillo y a testa. Permiten su sellado mediante la cinta adhesiva del sistema.

6.9.4.1 Aislamiento de suelos por el interior

La capa de mortero superior debe de ir armada y tener un espesor mínimo de 4 cm.



6.9.4.2 Aislamiento de suelos por el exterior

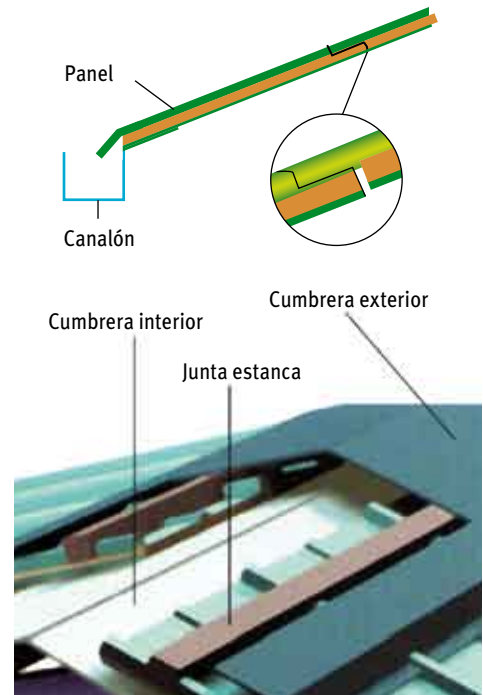


6.10 SOLUCIONES CON PANELES INYECTADOS DE POLIURETANO

6.10.1 Rehabilitación de cubiertas

6.10.1.1 Cubierta inclinada

La pendiente mínima admisible para el montaje del panel es de un 5%, pero se aconseja que la pendiente sea mínimo 7% en caso de realizar solapes transversales.



Fotografía 1

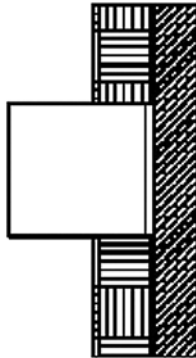


Fotografía 2

En la fotografía 1 podemos ver el proceso de rehabilitación de una cubierta inclinada de una vivienda con paneles sándwich de poliuretano y en la fotografía 2 vemos el resultado de la rehabilitación.

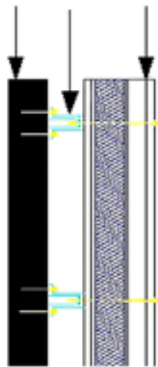
6.10.2 Rehabilitación de fachadas

6.10.2.1 Fachada exterior

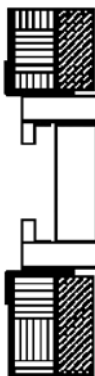


Pilar

Tabique Seco Omega Panel PPU



Tramo Central

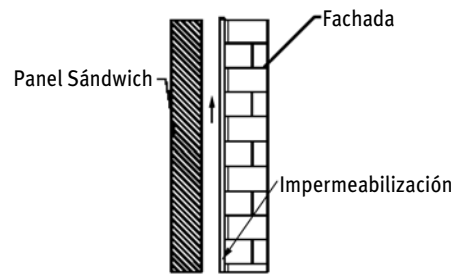


Contorno ventana

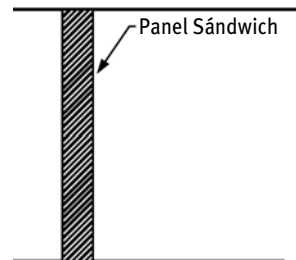


Fachada rehabilitada con paneles por el exterior

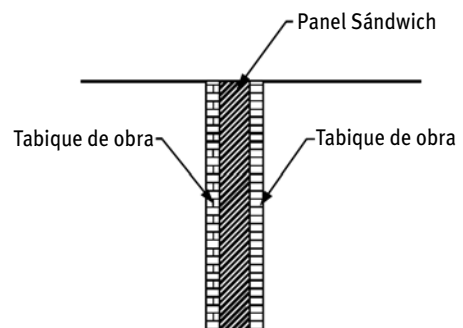
6.10.2.2 Fachada interior



Tramo Central



Partición



7

ÍNDICES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

El parámetro para medir la eficiencia energética de la intervención es aquel que permite valorar las pérdidas energéticas del edificio, es decir, la transmitancia térmica (U).

A partir de la descripción constructiva del edificio podemos valorar una “U inicial” y a través del cálculo y herramientas informáticas podemos estimar la reducción de las pérdidas energéticas del edificio.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) recoge en su apartado de Ahorro de Energía (DB-HE1) los valores máximos que deben respetar los elementos constructivos (muros o fachadas y cubiertas) objeto de rehabilitación en las distintas zonas climáticas:

Caso de opción simplificada, los valores prescriptivos que deben cumplirse son:

| U_{máx} (W/m²·K) | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Muros | 0,94 | 0,82 | 0,73 | 0,66 | 0,57 |
| Cubiertas | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 |

8

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

En toda intervención de rehabilitación térmica deben valorarse los siguientes aspectos durante la realización del proyecto:

- 1 Estudio detallado de la cubierta o la fachada inicial.
- 2 Valoración de afectación de otros elementos de la fachada o la cubierta (balcones, ventanas, muretes, sumideros, ventilaciones, chimeneas, etc.).
- 3 Estudio previo de las superficies. -
- 4 Reparaciones necesarias. -
- 5 Preparación de superficies. -
- 6 Ejecución del aislamiento. -
- 7 Ejecución de la protección. -
- 8 Definición del mantenimiento de la fachada o la cubierta.

Una vez se ha decidido realizar una rehabilitación térmica de la envolvente del edificio conviene

asegurar la inversión contando con materiales, sistemas constructivos y profesionales que tengan reconocida su calidad y prestaciones de forma certificada.

Se recomienda la exigencia de profesionales acreditados, así como el uso de materiales certificados.

Una vez se ha decidido realizar una rehabilitación térmica de la envolvente del edificio, conviene asegurar la inversión contando con materiales, sistemas constructivos y profesionales que tengan reconocida su calidad y prestaciones de forma certificada.

Se recomienda la exigencia de profesionales acreditados, así como el uso de materiales certificados y observar las indicaciones necesarias para un buen mantenimiento.

9

CASOS PRÁCTICOS

A continuación se describen varios casos de rehabilitación de edificios. Se analiza en cada caso:

- Eficiencia energética.
- Rentabilidad económica.
- Repercusión medioambiental.

Los casos estudiados corresponden a situaciones habituales de reparación programada de cubiertas o fachadas por razones de mantenimiento, habitabilidad o estética.

En dichos casos **la rehabilitación energética es siempre rentable**, ya que no se requieren medios auxiliares específicos y los sobrecostes son asumibles por los propietarios por su elevada rentabilidad.

- CASO 1.- Cubierta plana no transitable, con acabado en grava y rehabilitada energéticamente con espuma de poliuretano proyectada.
- CASO 2.- Cubierta plana rehabilitada energéticamente con espuma de poliuretano proyectada y protección con elastómero.
- CASO 3.- Cubierta inclinada abuhardillada rehabilitada energéticamente con aislamiento sobre el forjado inferior.
- CASO 4.- Fachada de doble hoja rehabilitada energéticamente con inyección de espuma de poliuretano en la cámara de aire.

Se han hecho cinco hipótesis de ubicación de los edificios correspondientes a las cinco zonas climáticas definidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Precios de energía que se han considerado

| Sistema de calefacción en la vivienda | Precios €/kWh eq. |
|---------------------------------------|-------------------|
| Eléctrica | 0,1095 |
| Gas natural (individual) - | 0,0555 |
| Gas natural (central) - | 0,0453 |

Fuente: IDAE

Factores de conversión medioambiental

| Energía | gr CO ₂ /kWh ahorrado |
|-------------|----------------------------------|
| Eléctrica | 750 |
| Gas natural | 210 |

Fuente: IDAE

SOLUCIONES DE REHABILITACIÓN -**CASO 1**

Cubierta plana no transitable, con acabado en grava y rehabilitada energéticamente con espuma de poliuretano proyectada.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1 Retirada de la grava.
- 2 Reparación de la impermeabilización.
- 3 Proyección de espuma de poliuretano de densidad 50 kg/m³ y conductividad térmica 0,028 W/m·K. Espesor en función de la zona climática (ver tabla).
- 4 Colocación de la grava.

Los costes aproximados de esta intervención son los siguientes:

| Rehabilitación de cubierta plana (> 500 m ²) | 4 cm | 5 cm | 6 cm | 7 cm |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Desglose a precios aproximados | €/m ² | €/m ² | €/m ² | €/m ² |
| Limpieza y preparación de la superficie | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Proyección de poliuretano (densidad 50 kg/m ³) | 5,75 | 6,90 | 8,05 | 9,20 |
| Mano de obra | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |
| Gastos generales (12%) | 0,97 | 1,13 | 1,30 | 1,47 |
| Beneficio (12%) | 1,08 | 1,27 | 1,46 | 1,65 |
| Total partida | 10,10 | 11,85 | 13,61 | 15,37 |

El espesor necesario para cada zona climática es el siguiente:

| | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Transmitancia térmica (U) exigida | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 |
| Resistencia térmica (R) exigida | 2,00 | 2,22 | 2,44 | 2,63 | 2,86 |
| Diferencia con la R del edificio de origen | 1,45 | 1,67 | 1,89 | 2,08 | 2,31 |
| Espesor necesario (cm) | 4,056 | 4,678 | 5,285 | 5,824 | 6,456 |
| Espesor comercial (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis de la demanda energética a través de la cubierta (400 m²) arroja el siguiente resultado:

Demanda energética (kWh)

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Edificio original | 5,7 | 7,2 | 7,9 | 10 | 12,9 |
| Cubierta rehabilitada | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 2,1 | 2,3 |
| Ahorro | 4,1 | 5,5 | 6,3 | 7,9 | 10,6 |
| Ahorro (%) | 72 | 76 | 80 | 79 | 82 |

Este ahorro debe repercutirse en las diferentes alturas del edificio, siendo más significativo en las plantas más cercanas a la cubierta. Los edificios de menos de cuatro alturas son los más beneficiados de este tipo de intervenciones.

EVALUACIÓN ECONÓMICA**Ahorro económico (€/año)**

| Zona climática | Precio €/kWh | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|---------------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 0,1095 | 970 | 1.301 | 1.490 | 1.869 | 2.507 |
| Calefacción GN individual | 0,0555 | 492 | 659 | 755 | 947 | 1.271 |
| Calefacción GN central | 0,0453 | 401 | 538 | 616 | 773 | 1.037 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | |

Inversión -

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|------------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Aislamiento PUR (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| Coste unitario (€/m ²) | 10,1 | 11,9 | 13,6 | 13,6 | 15,4 |
| Inversión (€) | 4.039 | 4.742 | 5.444 | 5.444 | 6.147 |

Retorno de la inversión

| | | | | | |
|---------------------------|---------------------|---|---|---|--------------------|
| Calefacción eléctrica | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| Calefacción GN individual | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 |
| Calefacción GN central | 10 | 9 | 9 | 7 | 6 |
| GN: Gas Natural | Superficie cubierta | | | | 400 m ² |

EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL**Reducción de emisiones de CO₂ (t/año)**

| Zona climática | gr CO ₂ /kWh ahorrado | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 750 | 7 | 9 | 10 | 13 | 17 |
| Calefacción GN | 210 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| GN: Gas Natural | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | | |

Este caso de rehabilitación de cubierta plana tiene los siguientes índices promedio aproximados:

- Reducción de la demanda energética - 80%
- Ahorro económico - 3 €/m²·año
- Inversión en aislamiento - 12 €/m²
- Retorno de la inversión - 4 años
- Reducción de emisiones - 20 kg CO₂/m² año

CASO 2

Cubierta plana rehabilitada energéticamente con espuma de poliuretano proyectada y protección con elastómero.

1 Reparación de las zonas deterioradas del embaldosado cerámico.

2 Proyección de espuma de poliuretano de densidad 50 kg/m³ y conductividad térmica 0,028 W/m·K. Espesor en función de la zona climática (ver tabla).

3 Proyección de una protección UVA de elastómero de poliuretano de 2 mm de espesor y densidad 1.000 kg/m³ con coloración.

Los costes aproximados de esta intervención son los siguientes:

| Rehabilitación de cubierta plana (> 500 m ²) | 4 cm | 5 cm | 6 cm | 7 cm |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Desglose a precios aproximados | €/m ² | €/m ² | €/m ² | €/m ² |
| Limpieza y preparación de la superficie | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 |
| Proyección de poliuretano (densidad 50 kg/m ³) | 5,75 | 6,90 | 8,05 | 9,20 |
| Mano de obra | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |
| Elastómero de poliuretano (densidad 1.000 kg/m ³) | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Mano de obra | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Gastos generales (12%) | 2,05 | 2,21 | 2,38 | 2,55 |
| Beneficio (12%) | 2,29 | 2,48 | 2,67 | 2,86 |
| Total partida | 21,39 | 23,14 | 24,90 | 26,66 |

El espesor necesario para cada zona climática es el siguiente:

| | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Transmitancia térmica (U) exigida | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 |
| Resistencia térmica (R) exigida | 2,00 | 2,22 | 2,44 | 2,63 | 2,86 |
| Diferencia con la R del edificio de origen | 1,45 | 1,67 | 1,89 | 2,08 | 2,31 |
| Espesor necesario (cm) | 4,056 | 4,678 | 5,285 | 5,824 | 6,456 |
| Espesor comercial (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis de la demanda energética a través de la cubierta (400 m²) arroja el siguiente resultado:

Demanda energética (kWh)

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Edificio original | 5,7 | 7,2 | 7,9 | 10 | 12,9 |
| Cubierta rehabilitada | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 2,1 | 2,3 |
| Ahorro | 4,1 | 5,5 | 6,3 | 7,9 | 10,6 |
| Ahorro (%) | 72 | 76 | 80 | 79 | 82 |

Como en el caso anterior, este ahorro de energía debe repercutirse en las diferentes alturas del edificio, siendo más significativo en las plantas más cercanas a la cubierta. Los edificios de menos de cuatro alturas son los más beneficiados de este tipo de intervenciones.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Ahorro económico (€/año)

| Zona climática | Precio €/kWh | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|---------------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 0,1095 | 970 | 1.301 | 1.490 | 1.869 | 2.507 |
| Calefacción GN individual | 0,0555 | 492 | 659 | 755 | 947 | 1.271 |
| Calefacción GN central | 0,0453 | 401 | 538 | 616 | 773 | 1.037 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | |

Inversión

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E - Burgos - |
|------------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| Aislamiento PUR (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| Coste unitario (€/m ²) | 21,4 | 23,4 | 24,9 | 24,9 | 26,7 |
| Inversión (€) | 8.555 | 9.257 | 9.960 | 9.960 | 10.662 |

Retorno de la inversión

| | | | | | |
|---------------------------|---------------------|----|----|----|--------------------|
| Calefacción eléctrica | 9 | 7 | 7 | 5 | 4 |
| Calefacción GN individual | 17 | 14 | 13 | 11 | 8 |
| Calefacción GN central | 21 | 17 | 16 | 13 | 10 |
| GN: Gas Natural | Superficie cubierta | | | | 400 m ² |

EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Reducción de emisiones de CO₂ (t/año)

| Zona climática | gr CO ₂ /kWh ahorrado | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 750 | 7 | 9 | 10 | 13 | 17 |
| Calefacción GN | 210 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| GN: Gas Natural | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | | |

Este caso de rehabilitación de cubierta plana + protección tiene los siguientes índices promedio aproximados:

- Reducción de la demanda energética - 80%
- Ahorro económico - 3 €/m²·año
- Inversión en aislamiento + protección - 12 €/m²
- Retorno de la inversión - 7 años
- Reducción de emisiones - 20 kg CO₂/m² año

CASO 3

Cubierta Inclínada abuhardillada rehabilitada energéticamente con aislamiento sobre forjado inferior. -

- 1 Proyección de espuma de poliuretano de densidad 35 kg/m³ y conductividad térmica 0,028 W/m·K. Espesor en función de la zona climática (ver tabla).

Los costes aproximados de esta intervención son los siguientes: -

| Rehabilitación de cubierta inclinada | 4 cm | 5 cm | 6 cm | 7 cm |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Desglose a precios aproximados | €/m ² | €/m ² | €/m ² | €/m ² |
| Proyección de poliuretano (densidad 40 kg/m ³) | 5,60 | 6,75 | 7,90 | 9,05 |
| Mano de obra | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |
| Gastos generales (12%) | 0,79 | 0,96 | 1,13 | 1,30 |
| Beneficio (12%) | 0,89 | 1,08 | 1,26 | 1,45 |
| Total partida | 8,28 | 10,04 | 11,79 | 13,55 |

El espesor necesario para cada zona climática es el siguiente:

| | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Transmitancia térmica (U) exigida | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | 0,35 |
| Resistencia térmica (R) exigida | 2,00 | 2,22 | 2,44 | 2,63 | 2,86 |
| Diferencia con la R del edificio de origen | 1,45 | 1,67 | 1,89 | 2,08 | 2,31 |
| Espesor necesario (cm) | 4,056 | 4,678 | 5,285 | 5,824 | 6,456 |
| Espesor comercial (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis de la demanda energética a través de la cubierta (400 m²) arroja el siguiente resultado:

Demanda energética (kWh)

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Edificio original | 5,7 | 7,2 | 7,9 | 10 | 12,9 |
| Cubierta rehabilitada | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 2,1 | 2,3 |
| Ahorro | 4,1 | 5,5 | 6,3 | 7,9 | 10,6 |
| Ahorro (%) | 72 | 76 | 80 | 79 | 82 |

Este ahorro de energía debe repercutirse en las diferentes alturas del edificio, siendo más significativo en las plantas más cercanas a la cubierta. Como en todos los casos de cubiertas, los edificios de menos de cuatro alturas son los más beneficiados de este tipo de intervenciones.

EVALUACIÓN ECONÓMICA**Ahorro económico (€/año)**

| Zona climática | Precio €/kWh | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|---------------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 0,1095 | 970 | 1.301 | 1.490 | 1.869 | 2.507 |
| Calefacción GN individual | 0,0555 | 492 | 659 | 755 | 947 | 1.271 |
| Calefacción GN central | 0,0453 | 401 | 538 | 616 | 773 | 1.037 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | |

Inversión

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E - Burgos - |
|------------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| Aislamiento PUR (cm) | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| Coste unitario (€/m ²) | 8,3 | 10,0 | 11,8 | 11,8 | 13,5 |
| Inversión (€) | 3.312 | 4.014 | 4.717 | 4.717 | 5.419 |

Retorno de la inversión

| | | | | | |
|---------------------------|---------------------|---|---|---|--------------------|
| Calefacción eléctrica | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| Calefacción GN individual | 8 | 7 | 7 | 6 | 5 |
| Calefacción GN central | 10 | 9 | 9 | 7 | 6 |
| GN: Gas Natural | Superficie cubierta | | | | 400 m ² |

EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL**Reducción de emisiones de CO₂ (t/año)**

| Zona climática | gr CO ₂ /kWh ahorrado | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 750 | 7 | 9 | 10 | 13 | 17 |
| Calefacción GN | 210 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | |

Este caso de rehabilitación de cubierta inclinada abuhardillada tiene los siguientes índices promedio aproximados:

- Reducción de la demanda energética - 80%
- Ahorro económico - 3 €/m²·año
- Inversión en aislamiento - 10 €/m²
- Retorno de la inversión - 4 años
- Reducción de emisiones - 20 kg CO₂/m² año

CASO 4

Fachada de doble hoja rehabilitada energéticamente con inyección de espuma de poliuretano en la cámara de aire.

1 Análisis de los cerramientos que componen la fachada. Caso de conformidad.

2 Inyección de espuma de poliuretano de baja densidad (12 kg/m³) y conductividad térmica 0,038 W/m·K hasta rellenar la cámara de aire de 5 cm.

El coste aproximado de esta intervención es de 7 €/m². El espesor de aislamiento es fijo y corresponde al espesor de la cámara de aire (5 cm).

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis de la demanda energética a través de la cubierta (400 m²) arroja el siguiente resultado:

Demanda energética (kWh)

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Edificio original | 13,3 | 16,6 | 18,3 | 23,3 | 29,9 |
| Cubierta rehabilitada | 5,0 | 6,3 | 6,9 | 8,8 | 11,3 |
| Ahorro | 8,28 | 10,35 | 11,39 | 14,492 | 18,63 |
| Ahorro (%) | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |

Este ahorro de energía se reparte por igual en todas las alturas del edificio. Los edificios con poca superficie acristalada son los más beneficiados de este tipo de intervenciones.

EVALUACIÓN ECONÓMICA**Ahorro económico (€/año)**

| Zona climática | Precio €/kWh | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|---------------------------|-----------------|----------------------|--------------|--------------------------|-------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 0,1095 | 1.959 | 2.448 | 2.693 | 3.428 | 4.407 |
| Calefacción GN individual | 0,0555 | 993 | 1.241 | 1.365 | 1.737 | 2.234 |
| Calefacción GN central | 0,0453 | 810 | 1.013 | 1.114 | 1.418 | 1.823 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | 180 días/año calefacción | | |

Inversión

| Zona climática | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E - Burgos - |
|------------------------------------|-------------|--------------|----------------|-------------|-----------------|
| Aislamiento PUR (cm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Coste unitario (€/m ²) | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| Inversión (€) | 2.800 | 2.800 | 2.800 | 2.800 | 2.800 |

Retorno de la inversión

| | | | | | |
|---------------------------|---------------------|---|---|---|--------------------|
| Calefacción eléctrica | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Calefacción GN individual | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Calefacción GN central | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| GN: Gas Natural | Superficie cubierta | | | | 400 m ² |

EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL**Reducción de emisiones de CO₂ (t/año)**

| Zona climática | gr CO ₂ /kWh ahorrado | A Málaga | B Sevilla | C Barcelona | D Madrid | E Burgos |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|----------------|--------------------------|-------------|
| Calefacción eléctrica | 750 | 13 | 17 | 18 | 23 | 30 |
| Calefacción GN | 210 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 |
| GN: Gas Natural | | 12 h/día calefacción | | | 180 días/año calefacción | |

Este caso de rehabilitación de fachada con relleno de cámara tiene los siguientes índices promedio aproximados:

- Reducción de la demanda energética - 62%
- Ahorro económico - 4 €/m²·año
- Inversión en aislamiento - 8 €/m²
- Retorno de la inversión - 2 años
- Reducción de emisiones - 30 kg CO₂/m² año

10 BIBLIOGRAFÍA

- Guía práctica de la energía. Consumo eficiente y responsable. IDAE. 2004.
- Código Técnico de la Edificación. DB-HE.
- Guía de buena práctica para las proyecciones de espuma de poliuretano. Asociación de Miembros del Instituto Eduardo Torroja. 2001.

**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)

Guía nº 2

Soluciones de Aislamiento con
Poliestireno Extruido (XPS)

Guía nº 3

Soluciones de Aislamiento
con Lana Mineral

Guía nº 4

Soluciones de Aislamiento
con Poliuretano

IDAE 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



P.V.P.: 20 € (IVA incluido)