

MANUAL DE CUBIERTA PLANA INVERTIDA (1ª PARTE)

Comisiones técnicas de ANFI y AIPEX

En esta sección se explica la aportación de una cubierta invertida, especificando seguidamente los requisitos de un aislamiento térmico, plenamente satisfechos por las planchas de espuma de poliestireno extruido (XPS). A continuación se pasa revista a una serie de conceptos útiles para el diseño de cubiertas invertidas con XPS, como son el control térmico, el efecto de la lluvia en el cálculo térmico de una cubierta invertida, el control de las condensaciones y la fluencia a compresión, propiedad básica de los materiales aislantes que van a ser instalados bajo carga permanente, como ocurre en una cubierta. Finalmente se hace un repaso de normativas y certificaciones referidas a la cubierta invertida.

AISLAR CUBIERTAS PLANAS INVERTIDAS

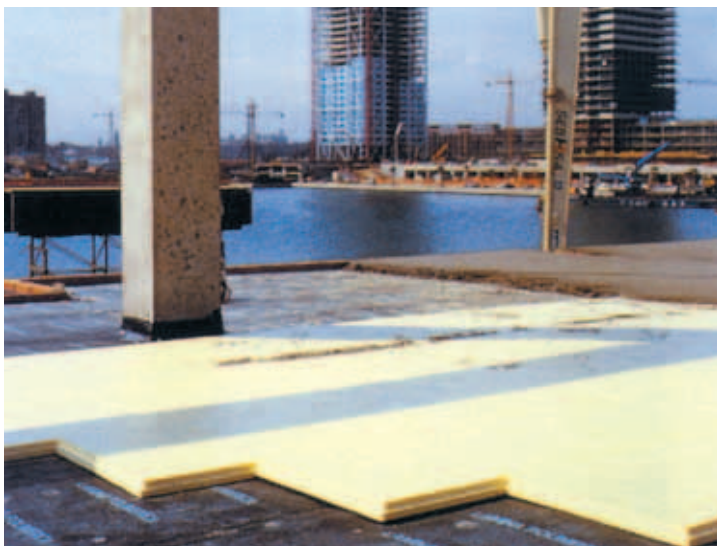
Una cubierta invertida está constituida principalmente por los siguientes elementos:

- Forjado resistente
- Formación de pendientes
- Impermeabilización
- Aislamiento térmico
- Acabado

Se diferencia de la convencional en la posición del aislamiento térmico, que en este tipo de cubierta se sitúa sobre la membrana impermeabilizante.

Esta ubicación de la capa aislante aporta los siguientes efectos:

- **Reducción del choque térmico sobre la membrana impermeabilizante.** En el gráfico adjunto se reflejan las variaciones anuales de la temperatura de la impermeabilización en los casos de cubierta convencional y cubierta invertida. Se puede apreciar que las variaciones de la temperatura de la impermeabilización en la cubierta invertida son sustancialmente inferiores a la de una cubierta convencional.
- **Disminución de temperaturas extremas** sobre la membrana impermeabilizante.
- **Posibilidad de colocación bajo condiciones meteorológicas adversas**, lo que implica rapidez de ejecución.
- **Actuación de la membrana impermeabilizante como barrera contra el vapor.** Dado que la impermeabilización está situada bajo el aislamiento térmico, es decir, en su «cara caliente»,



Ejemplo de evolución anual de temperaturas sobre la membrana impermeabilizante en cubierta convencional e invertida

cumple también el papel de barrera contra el vapor con lo que, en vez de haber dos capas impermeables, hay una sola capa de doble función.

- **Menor incidencia de la mano de obra**, gracias a la sencillez y rapidez de colocación.
- **Facilita el acceso a la impermeabilización** en la mayoría de los casos, para su reparación, y en general, reduce su mantenimiento.
- **Homogeneidad de la capa aislante**. El espesor del aislamiento es uniforme a lo largo de toda la cubierta.
- **Posibilita múltiples acabados** (no transitables, transitables, parking, ajardinado, etc.).

Por supuesto el concepto de cubierta invertida explicado depende absolutamente de un aislante térmico con unas propiedades muy especiales, no sólo térmicas, sino también mecánicas y de insensibilidad a la humedad.

REQUISITOS DE UN AISLANTE TÉRMICO PARA CUBIERTA INVERTIDA

Una cubierta invertida conlleva una exposición del aislamiento térmico al agua procedente de lluvia, heladas, cargas de diversa índole, etc. En definitiva, una situación que lo somete a duras condiciones sin que por ello pueda perder su eficacia.

Las características del XPS para una cubierta invertida deben ser las siguientes, y así queda determinado en la Guía ETAG 031 de la EOTA (European Organization for Technical Approvals):

- Resistencia a la absorción de agua a largo plazo por inmersión, de modo que conserve todas sus características térmicas y mecánicas en contacto con el agua. Tomando como referencia el ensayo según UNE-EN 12087, se considera un valor $\leq 0,7\%$ de absorción de agua —en volumen—.
- Resistencia a la absorción de agua tras ciclos de hielo-deshielo. Igualmente, a partir del ensayo según UNE EN 12091, se considera un valor $\leq 1\%$ de absorción de agua —en volumen—.
- Mantenimiento de la resistencia mecánica tras ciclos de hielo-deshielo. Después de los ciclos de hielo-deshielo, según UNE-EN 12091, el producto no verá disminuida su resistencia a compresión en más de un 10% según UNE-EN 826.
- Resistencia a la absorción de agua por difusión del vapor. De acuerdo con el ensayo UNE EN 12088, se considera un valor $\leq 3\%$ de absorción de agua —en volumen—.
- Resistencia a la difusión del vapor, factor μ , según ensayo UNE EN 12086, ≥ 100 .

- Resistencia mecánica al manejo para su instalación y a las cargas a que se vea sometido durante y después de su instalación. Se toma como referencia admitida (y probada por más de 35 años de experiencia recogida en los «Agrément» y en los Informes de Comportamiento a Largo Plazo de cubiertas invertidas de diversos Institutos Europeos de la Construcción), un valor de resistencia a compresión a corto plazo, según ensayo UNE EN 826, ≥ 300 kPa (3 kp/cm²) y valores de fluencia a largo plazo inferiores al 2% a 50 años bajo cargas de 1 kg/cm², de acuerdo con UNE EN 1606.
- Estructura de célula cerrada, $\geq 95\%$, lo que explica su excelente comportamiento ante la humedad al imposibilitarse que el agua pase de una célula a la siguiente (a modo de compartimentos estancos, y separados por una pared celular, el poliestireno, hidrófoba)
- Capilaridad nula.
- Imputrescibilidad

Entre los materiales de aislamiento térmico sólo el XPS posee a la vez todas las propiedades reseñadas. Puede ocurrir que otros materiales aislantes satisfagan eventualmente alguna de las propiedades anteriores, pero nunca todas a un tiempo, como es el caso del XPS.

En definitiva, las características del XPS satisfacen plenamente los exigentes requisitos del sistema de cubierta invertida.

Además, a la hora de elegir un producto de XPS, se buscará aquel que cuente con la debida certificación de calidad, la cual garantiza que, efectivamente, ofrece la calidad y prestaciones reseñadas.

En el caso de España, se trata de la Marca AENOR, concedida a fabricantes con implantación de un Sistema de Calidad sobre su proceso de fabricación, y un control del producto fabricado mediante ensayos periódicos en laboratorios oficiales, de acuerdo con la norma de producto correspondiente (para el XPS, UNE-EN 13164).

Por otro lado, junto a las propiedades anteriores, específicas para poder ser instalado en cubierta invertida, el XPS cuenta con otras características valiosas (Tabla 1):

- Excelente conductividad térmica, con un valor, estable indefinidamente en el tiempo, de entre 0,034 y 0,036 W/(m·K) para los usos establecidos en este documento.
- Mantenimiento a largo plazo de sus prestaciones térmicas, como lo muestran los informes de diversos Institutos Técnicos Europeos, sobre obras con 20 y más años de antigüedad.
- Euroclase E de reacción al fuego.
- Fácil de trabajar y cortar

Tabla 1. Resumen de características

Resistencia mínima a la compresión según UNE-EN-826 kPa	Absorción de agua por inmersión según UNE-EN-12087 %	Deformación máxima bajo carga y temperatura según UNE-EN-1605 %	Fluencia a compresión según UNE-EN-1606 %	Absorción de agua por difusión según UNE-EN-12088 %	Resistencia a la congelación / descongelación según UNE-EN-12091
CS(10/Y)300 kPa ¹	WL(T)0,7	DLT(2)5%	CC(2/1,5/50)100 ²	WD(V)3	FT2

¹ En cubiertas transitables para vehículos CS(10/Y) será = 500 kPa.

² En cubiertas transitables para peatones CC será = 175 % mientras que en cubiertas no transitables no hay exigencia.

- Seguro en la manipulación, no irritante ni nocivo para la salud.
- Mínimo impacto medioambiental: fabricado sin agentes con potencial de reducción del ozono estratosférico.

CONTROL TÉRMICO

El Código Técnico de la Edificación (CTE) en su documento básico DB-HE 1, establece los valores límite de la transmitancia térmica de cubiertas U_c (W/m²·K) para cada una de las



12 zonas climáticas definidas en función de las severidades del invierno, A, B, C, D, E y de verano 1, 2, 3, 4.

Para estas zonas climáticas se establecen 5 niveles de exigencias mínimas para la transmitancia térmica que van de 0,35 a 0,50 W/m²·K, según se recoge en mapa de zonificación.

En la tabla 2 se refleja el nuevo dimensionado del aislamiento térmico de planchas XPS en cubiertas invertidas en función de los valores U_c límites para cada zona climática, consignados en la opción simplificada del CTE HE-1.

Los valores de espesores anteriores son orientativos para las soluciones basadas en forjado de bovedilla (ya sea cerámica o de hormigón, y para un canto de forjado de 25+5 cm).

El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE establece, para varias tipologías de cubiertas, la relación entre la transmitancia térmica U (W/m²·K) y la resistencia térmica del aislante en cubiertas R_{AT} (m²·K/W), en función del soporte resistente.

Por ejemplo, para una cubierta plana, transitable no ventilada con solado fijo y soporte resistente a base de forjado unidireccional con elementos de entrevigado (bovedilla) cerámicos, $U = 1/(0,55 + R_{AT})$.

En este caso, para una zona climática tipo D. (Zona climática del centro de España, incluyendo Madrid):

$$U \text{ (W/m}^2 \text{ K)} = 0,38 = 1/(0,55 + R_{AT});$$

$$\text{donde: } R_{AT} = 2,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tabla 2

Zona Invernal	Valores U_c Limite Para Cubiertas (W/m ² ·k)	Espesor Orientativo Para Cubierta Invertida (mm)
A	0,50	50
B	0,45	60
C	0,41	70
D	0,38	70
E	0,35	80

Conocida la R_{AT} del aislante y la conductividad térmica λ en $W/(m \cdot K)$ facilitada por el fabricante, el espesor se calculará a partir de la fórmula:

$$e = \lambda \cdot (W/m \cdot K) \cdot R_{AT} \cdot (m^2 \cdot K/W)$$

El valor de λ para un XPS oscila entre 0,034 y 0,036 $W/m \cdot K$ por lo que considerando, por ejemplo, un $\lambda = 0,034 W/m \cdot K$.

$$e = 0,034 (w/m \cdot K) \cdot 2,08 (m^2 \cdot K)/W$$

$$e = 0,070 m$$

$$e = 70 mm \text{ (aprox.)}$$

INERCIA TÉRMICA: Al colocar las planchas de XPS sobre el soporte estructural de la cubierta (forjado, losa, etc.), se aprovecha al máximo la capacidad calorífica de los materiales del soporte, que colaboran de esta forma con toda la efectividad posible a la inercia térmica del edificio, estabilizando la temperatura interior ante los cambios térmicos exteriores y evitando el riesgo de condensación si hubiera alguna discontinuidad en el aislamiento de la cubierta (puente térmico).

EFFECTO DE LA LLUVIA EN EL CÁLCULO TÉRMICO DE UNA CUBIERTA INVERTIDA

Este capítulo se introduce a título informativo y no se contempla en el DB-HE ni el Catálogo de Elementos Constructivos. En cualquier caso el resultado de los cálculos arroja incrementos de espesores de aislamiento mínimos absorbidos por los espesores comerciales.

Aunque la mayor parte del agua de lluvia se evacúa por encima de las planchas de XPS, a través de las juntas de las planchas se produce una escorrentía limitada, de modo que una pequeña cantidad del agua de lluvia alcanza el nivel de la impermeabilización, bajo el aislamiento térmico, sustrayendo así calor del forjado.

Diversos Institutos independientes de la construcción en toda Europa han llevado a cabo innumerables ensayos para medir la influencia del agua de lluvia sobre la temperatura de la cubierta, elaborando de esta manera el fundamento de la medida del aislamiento térmico en cubierta invertida. Para compensar las pequeñas pérdidas de calor debidas a la lluvia que pasa entre las planchas de XPS y la impermeabilización se calcula, con las fórmulas indicadas a continuación, un espesor de aislamiento un poco mayor que en el sistema tradicional. Así durante el periodo de calefacción, se gana en tiempo seco lo que se ha perdido en periodos de lluvia.

La EN-ISO 6946 aporta el método de corrección de la transmitancia térmica de una cubierta invertida



debido a la existencia de agua entre el aislamiento y la membrana impermeabilizante según la siguiente ecuación:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_T} \right)$$

Donde:

- p es el valor medio de las precipitaciones durante la estación de calefacción, basada en los datos relevantes de la localización (p.e. estación meteorológica) o establecidos por las regulaciones locales, regionales o nacionales u otros documentos nacionales o normas, en mm/día.
- f es el factor de drenaje que indica la fracción de la precipitación p que alcanza la membrana impermeabilizante
- x es el factor que cuantifica la pérdida de calor ocasionada por el flujo de agua sobre la membrana en $(W \cdot día)/(m^2 \cdot K \cdot mm)$.
- R_1 es la resistencia térmica de la capa de aislamiento situada sobre la membrana impermeabilizante en $m^2 \cdot K/W$.
- R_T es resistencia térmica total de la cubierta antes de aplicar la corrección, en $m^2 \cdot K/W$.

Para aislamientos de una capa con juntas rectas y capa de protección «abierta», por ejemplo grava, $f \cdot x = 0,04$.





Se ha comprobado que la temperatura superficial interior del forjado soporte de una cubierta invertida, durante fuertes aguaceros, es inferior, como máximo, en 1,5 °C respecto de la de una cubierta convencional.

Esta diferencia de temperatura no influye en las condiciones ambientales del interior del edificio ni produce efectos de condensación.

A partir de las fórmulas expuestas, el proyectista realizará los cálculos para obtener los espesores de XPS adecuados a la zona pluviométrica.

En la tabla 3 se recogen los datos de precipitación de los meses de calefacción (octubre-abril) de las principales capitales españolas, correspondientes al periodo 1971-2000.

Estos son datos oficiales de precipitación publicados por el Instituto Nacional de Meteorología, que se encuentran disponibles, junto a otros datos climáticos en la página www.inm.es. ■

Tabla 3. Tabla de Valores P

Ciudad	P (mm/día) Precipitación media diaria periodo octubre a abril	Ciudad	P (mm/día) Precipitación media diaria periodo octubre a abril
Albacete	1,06	Madrid	1,44
Alicante	1,06	Mahón	2,01
Almería	0,73	Málaga	2,19
Ávila	1,16	Murcia	1,17
Badajoz	1,76	Orense	2,87
Barcelona	1,70	Oviedo	3,09
Bilbao	3,86	Palma de Mallorca	1,50
Burgos	1,64	Las Palmas	1,45
Cáceres	1,94	Pamplona	2,23
Cádiz	2,39	Pontevedra	6,12
Castellón	1,35	Salamanca	1,14
Ciudad Real	1,35	San Sebastián	4,81
Córdoba	2,14	Sta. Cruz de Tenerife	0,95
La Coruña	3,55	Santander	4,03
Cuenca	1,58	Segovia	1,38
Gerona	2,10	Sevilla	2,25
Granada	1,37	Soria	1,41
Guadalajara	1,29	Tarragona	1,49
Huelva	2,00	Teruel	0,80
Huesca	1,48	Toledo	1,15
Ibiza	1,48	Valencia	1,50
León	1,73	Valladolid	1,36
Lérida	0,94	Vitoria	2,50
Logroño	1,06	Zamora	1,13
Lugo	3,74	Zaragoza	0,85