

RENDIMIENTO A LARGO PLAZO DE LOS PRODUCTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS)

Uno de los requisitos esenciales que contempla la Directiva Europea de Productos de la Construcción (CPD) es la durabilidad de los productos, que está estrechamente relacionada con la sostenibilidad de los edificios y su consumo de energía. Por consiguiente, los productos de aislamiento térmico deben proporcionar pruebas de su durabilidad en el transcurso de su vida útil. En este documento se presentan métodos para abordar este complejo problema, utilizando como ejemplo la espuma de poliestireno extruida XPS de acuerdo con la norma europea armonizada EN 13164. El aislamiento de XPS se aplica en multitud de construcciones sujetas a diversas cargas combinadas, como una combinación de impactos mecánicos, humedad y calor. En este caso concreto, se investigó la durabilidad higrotérmica y mecánica de productos a base de XPS. Se presentarán resultados de laboratorio y prácticos para demostrar la correlación entre los ensayos de durabilidad a corto plazo y el rendimiento práctico de los productos. La aplicación de productos de aislamiento en condiciones de carga sostenida también se abordará en este documento. La durabilidad de los productos de aislamiento con respecto al deterioro mecánico en condiciones de carga a largo plazo está caracterizada por su comportamiento a fluencia (EN 13164 Anexo ZA). Se presentarán y discutirán el método conforme a EN 1606 y los resultados de las mediciones de comportamiento a fluencia para productos de XPS.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los requisitos esenciales que contempla la Directiva Europea de Productos de la Construcción (CPD) es la durabilidad de los productos. La durabilidad se define como *la capacidad de un producto para mantener sus prestaciones requeridas en el transcurso de un período de tiempo largo o dado, bajo la influencia de acciones previsibles, sometido a un mantenimiento normal [EC 2004].*

Un producto comercializado certifica su cumplimiento de la directiva CPD por medio de la marca CE, que certifica el cumplimiento por el producto de la especificación técnica aplicable (normas armonizadas EN; Documentos de Idoneidad Técnica Europeos, DITE). Por otro lado, el fabricante está obligado a declarar que el producto cumple las características obli-

gatorias conforme a las especificaciones técnicas [véase «referencias»: CEPMC 2005]. El concepto de durabilidad relacionado con la marca CE certifica la estabilidad de las características obligatorias de un producto, en lo tocante a uno o más de los 6 requisitos esenciales. Dicha estabilidad es dependiente de la evolución en el tiempo, o envejecimiento, de una o varias prestaciones de las características e implica la resistencia al deterioro durante la exposición a agentes externos o específicos normalmente previsibles [EC 2004].

Los productos aislantes térmicos pueden repararse o reemplazarse «con algo más de esfuerzo» en multitud de casos. Existen aplicaciones excepcionales, por ejemplo, el aislamiento para cimientos, donde debe asumirse que el producto tiene por lo menos la categoría «Normal», que son 50 años de vida útil de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Vida útil (vida útil de diseño) estimada ilustrativa de productos para obras y construcciones [EOTA 1999]

Vida útil estimada de obras (años)		Vida útil de productos para la construcción estimada en ETAG, ETA, hEN (años)		
Categoría	Años	Categoría		
		Reparable o reemplazable fácilmente	Reparable o reemplazable con algo más de esfuerzo	De por vida ²⁾
Breve	10	10 ¹⁾	10	10
Media	25	10 ¹⁾	25	25
Normal	50	10 ¹⁾	25	50
Larga	100	10 ¹⁾	25	100

¹⁾ En casos excepcionales y justificados, por ejemplo, tratándose de ciertos productos para reparaciones puede preverse una vida útil de 3 a 6 años (con el acuerdo de EOTA TB o CEN, respectivamente)

²⁾ Si no es reparable o reemplazable «fácilmente» o «con algo más de esfuerzo»

2. EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE LOS PRODUCTOS AISLANTES

La evaluación de la durabilidad de los productos aislantes térmicos se puede llevar a cabo mediante:

- Métodos de ensayo a corto plazo en laboratorio
- Métodos de ensayo de envejecimiento en laboratorio
- Ensayo de productos en aplicaciones en condiciones climáticas naturales.

2.1. Métodos de ensayo en laboratorios

A continuación abordaremos dos características obligatorias especificadas en las normas europeas de productos:

Durabilidad de la resistencia térmica al envejecimiento, el deterioro y los ciclos de congelación-descongelación.

Durabilidad de la resistencia a la compresión con respecto al envejecimiento y el deterioro.

2.1.1. Durabilidad de la resistencia térmica al envejecimiento, el deterioro y los ciclos de congelación-descongelación.

Uno de los ensayos más importantes que se realizan con el poliestireno extruido es el test de congelación-descongelación, que consta de dos tests distintos: el test de absorción de agua por difusión [EN 12088] y el test de absorción de agua después de ciclos de congelación y descongelación [EN 12091]. El test es obligatorio para las aplicaciones como Cubiertas invertidas y cualquier aislamiento por debajo del nivel del suelo, por ejemplo, aislamiento de muros enterrados y aplicaciones de relleno en carreteras y vías de ferrocarril [EN 14934].

Las figuras 1 y 2 muestran un esquema de la configuración del test y las condiciones límite del test de difusión y congelación-descongelación.

Después de un test de difusión de 28 días, las muestras se someten al test de ciclos de congelación-descongelación. Las condiciones límite son más rigurosas que las condiciones climáticas en la mayoría de los países europeos. Pero los resultados están de acuerdo

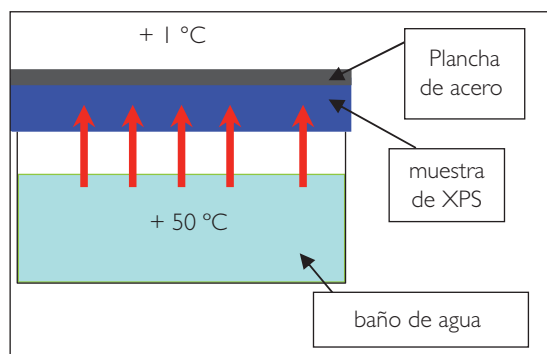


Figura 1. Test de difusión (esquema), 28 días

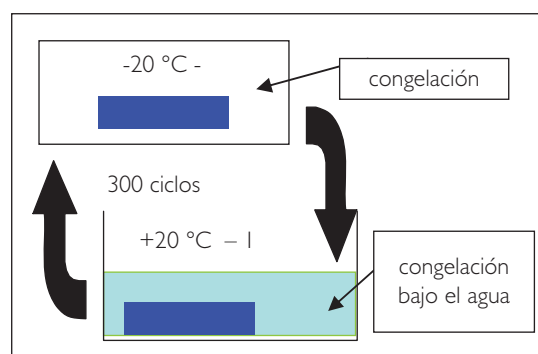


Figura 2. Test de congelación-descongelación (esquema), 28 días

Tabla 2. Niveles de absorción de agua por difusión con respecto al grosor nominal d_N de acuerdo con EN 13164 [EN13164] para poliestireno extruido

Nivel	Requisito [m^3/m^3 (Vol-%)]		
	$d_N = 50$ mm	$d_N = 100$ mm	$d_N = 200$ mm
WD(V)5	≤ 5	≤ 3	$\leq 1,5$
WD(V)3	≤ 3	$\leq 1,5$	$\leq 0,5$

perfectamente con los resultados prácticos a largo plazo. Por tanto, las condiciones de ensayo simulan a corto plazo el rendimiento del producto en condiciones climáticas.

En las Tablas 2 y 3 se enumeran los requisitos de absorción de agua por difusión y tras ciclos de congelación-descongelación.

En la Figura 3 se muestran los resultados reales de ensayos realizados por diversos organismos europeos notificados.

Los valores de la Figura 3 llevan a una declaración WD(V)3 conforme a EN 13164. Puede suponerse que un producto de este tipo resiste el impacto del agua.

Tras ciclos de congelación-descongelación, la disminución de la resistencia a la compresión no debe ser mayor que un 10% del valor inicial antes de este ensayo. Este requisito asegura que la estructura del material de espuma no se ha deteriorado durante los procesos de hielo y deshielo.

Los valores reales de ensayos realizados por organismos europeos notificados apenas muestran reducción de la resistencia a la compresión para los productos STYROFOAM™.

2.1.2. Durabilidad de la resistencia a la compresión

En algunas aplicaciones no es posible o rentable reparar o sustituir los productos aislantes. En concreto, cuando los productos se aplican bajo cimientos u otros elementos estructurales de un edificio.

En este caso, los productos deben atenerse a la categoría «NORMAL» especificada en la tabla 1. Normal significa una vida útil de por lo menos 50 años.

La espuma de poliestireno extruido se utiliza con éxito desde hace muchos años como relleno en construcciones de carreteras y ferrocarriles, así como bajo losas de hormigón, por ejemplo, en cimientos o suelos industriales.

Tabla 3. Niveles de resistencia a los ciclos de congelación-descongelación, absorción de agua tras ciclos de congelación-descongelación para poliestireno extruido de acuerdo con EN 13164.

Nivel	Requisitos [m^3/m^3 (Vol-%)]
FT 1	≤ 2
FT 2	≤ 1

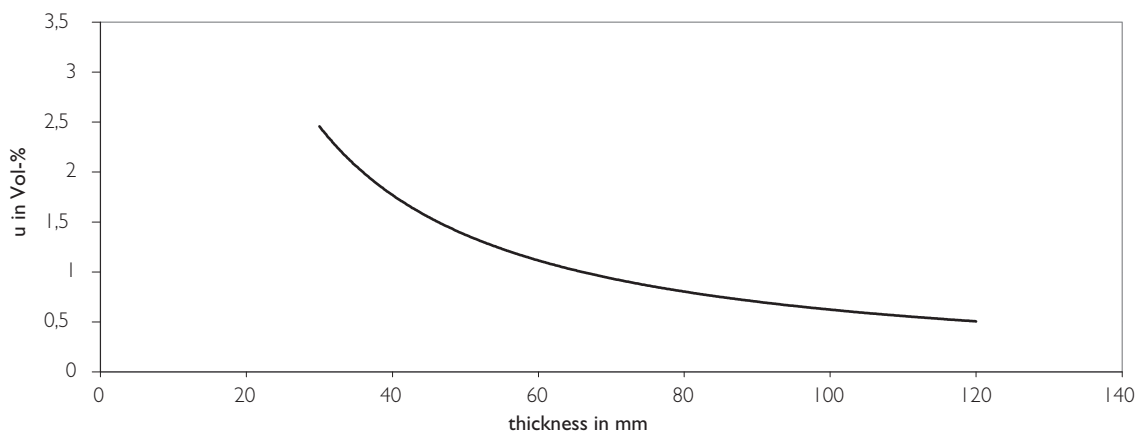


Figura 3. Absorción de agua por difusión, valores representativos para productos ROOFMATE™

™ Marca Registrada de The Dow Chemical Company («Dow») o de cualquier filial de Dow.

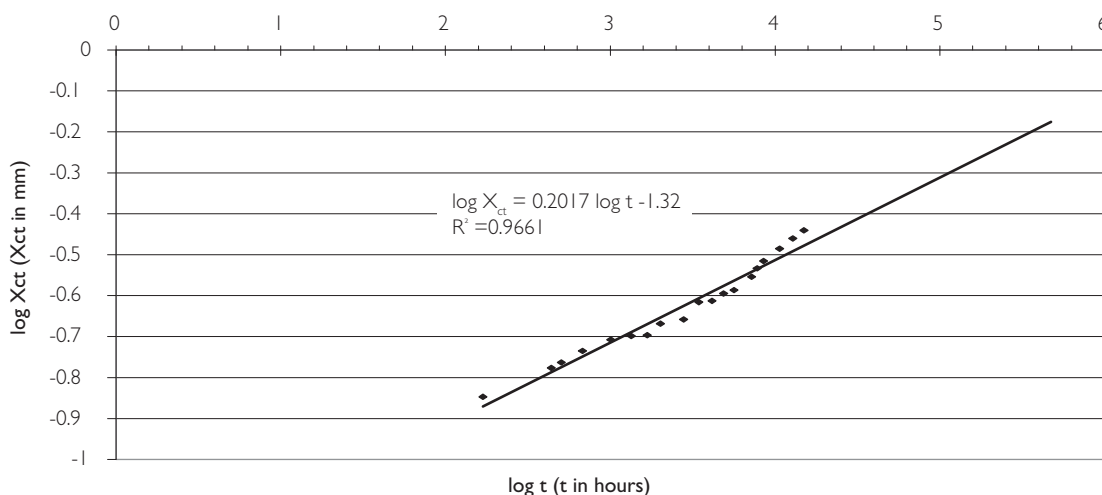


Figura 4. Curva de regresión típica de FLOORMATE para determinar los parámetros de FINDLEY m y b

Es necesario conocer el comportamiento de deformación bajo tensión (fluencia por compresión) de XPS bajo carga permanente. La evaluación de los productos aislantes térmicos debe realizarse conforme a la norma de ensayo europea EN 1606 [EN1606].

Esta norma consta de un método de medida y un método de cálculo para la predicción de la fluencia a largo plazo de acuerdo con los criterios de FINDLEY [Merkel 2004].

Este método describe el comportamiento viscoelástico de la espuma de plástico celular.

$$X_t = X_0 + m \cdot t^b \quad (1)$$

donde:

X_0 : deformación inicial 60 segundos después de aplicar la carga

m, b : parámetros del material (parámetros de FINDLEY)

La fórmula (1) se conoce como ecuación de Findley. El segundo término caracteriza la parte viscoelástica de la deformación. Los parámetros del material m y b dependen de la tensión. La ecuación (1) también puede expresarse en forma lineal, mediante la introducción de términos logarítmicos:

$$\log (X_t - X_0) = \log m + b \cdot \log t \quad (2)$$

Los parámetros m y n pueden obtenerse mediante una curva de regresión lineal, que se calcula por medio de valores medidos empezando 168 horas después de

la medición inicial. De la ecuación (2) se desprende que el parámetro b es la pendiente de la curva y $\log m$ la ordenada en el origen.

En la Figura 4 se muestra una curva de regresión lineal típica de FLOORMATE™, en la cual pueden determinarse m y b . Los detalles de este procedimiento se describen en EN 1606. Se admite una extrapolación de 30 veces el tiempo de ensayo cuando el coeficiente de determinación $R^2 \geq 0,9$.

En el ejemplo anterior, los parámetros de FINDLEY determinados son: $b = 0,2017$ y $m = 0,048$. Para aplicaciones de construcción como el aislamiento térmico de cimientos, normalmente se requieren una reducción total $\leq 2\%$ del grosor inicial y un tiempo de extrapolación de 50 años. En conclusión, los productos de aislamiento térmico deben someterse a ensayos durante 608 días a un nivel de resistencia que causará al final deformaciones inferiores a un 2%.

En la Figura 5 se muestra una curva de fluencia para un producto de XPS conforme a EN 1606.

Es evidente que, después de un breve periodo de respuesta inicial a la carga aplicada, la parte de fluencia restante de la deformación es muy pequeña. Las líneas perpendiculares a trazos situadas a la derecha de la figura se encuentran a 20 y 50 años. Entre 20 y 50 años de servicio, la deformación por fluencia es prácticamente inapreciable. La espuma conserva sus propiedades de estabilidad estructural durante todo el periodo de ensayo. Esto significa que la espuma de poliestireno extruido es muy duradera en condiciones de cargas mecánicas sostenidas.

™ Marca Registrada de The Dow Chemical Company («Dow») o de cualquier filial de Dow.

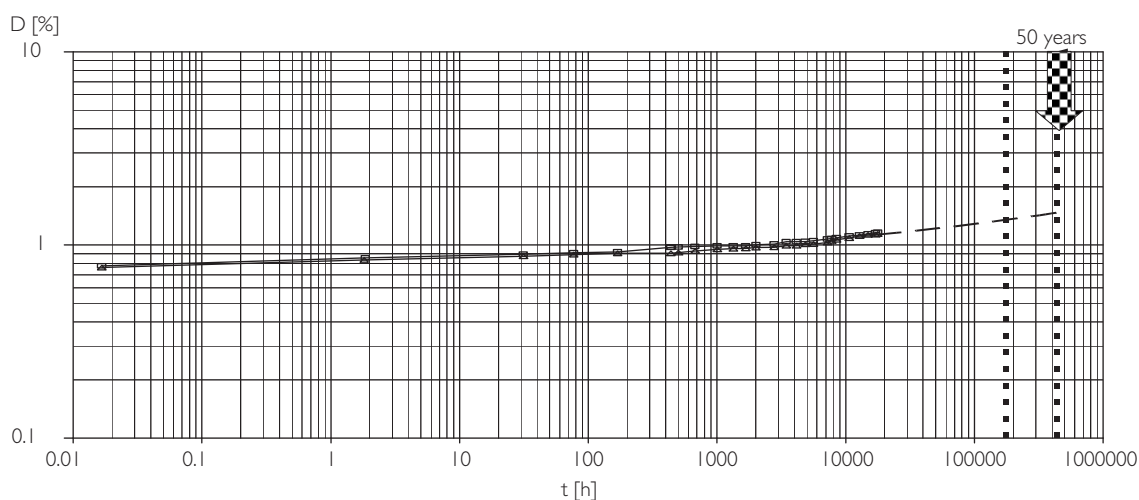


Figura 5. Deformación por fluencia de un producto FLOORMATE™ 700 bajo una carga constante de 270 kPa (gráfico: Dow Building Solutions)

2.2. Rendimiento a largo plazo en condiciones de uso final, ejemplos

2.2.1. Aplicación en ingeniería civil

Se estudió el rendimiento de capas de aislamiento de poliestireno extruido (XPS) en aplicaciones de carreteras en Siberia durante un periodo de 20 años [Polukhina et. al. 2003]. La capa de aislamiento se encontraba a unos 50 a 65 cm por debajo de la rasante del terreno. Las condiciones climáticas se caracterizaban por un clima continental típico, con variaciones de temperatura de aproximadamente 90 grados K entre verano e invierno.

En la tabla 4 se muestran los resultados que caracterizan la durabilidad de los productos de XPS aplicados en este proyecto.

El producto de XPS investigado no presentó deterioro en condiciones climáticas muy extremas, así como hidrológicas y de suelo complejas, a lo largo de 20 años de servicio. El incremento de conductividad térmica debido a la humedad es inferior a un 5%. La variación de la conductividad térmica en función del tiempo a causa del intercambio de gas espandente de las células es de aproximadamente un 5%. Esta magnitud es muy



Figura 6. Toma de muestras de placas de ROOFMATE™ de una cubierta ajardinada [Schäfer, von Rekowski, Rahn]

inferior al aumento predicho de un 10% de acuerdo con las normas alemanas anteriores.

2.2.2. Aplicación de construcción

La aplicación de XPS por el exterior de una membrana de impermeabilización, como en el conocido caso de la cubierta invertida, requiere una elevada resistencia mecánica y a la humedad. En las aplicaciones de este tipo, el producto aislante está expuesto al impacto de una combinación de cargas térmicas, de humedad y mecánicas.

Tabla 4. Resultados del rendimiento a largo plazo de Styrofoam en una aplicación vial [Polukhina et. al. 2003]

Propiedad	1983	1995	2003
Resistencia a la compresión [N/mm ²]	0,40	0,48	0,52
Conductividad térmica a 20 °C, muestra seca [W/(mK)]	0,028	0,0286	0,0295
Conductividad térmica a 20 °C, muestra húmeda [W/(mK)]	–	0,0301	0,0309

™ Marca Registrada de The Dow Chemical Company («Dow») o de cualquier filial de Dow.

Tabla 5. Resultados del rendimiento a largo plazo de XPS en cubierta invertida (CI) y en muros enterrados (Dow Building Solutions)

Construcción	Vida útil [años]	Grosor [mm]	Resistencia compr. [kPa]	λ 10 medida [W/(mK)] ¹⁾	λ diseño [W/(mK)] ²⁾
CI de grava con balasto [MBJ 2005]	8	140	no medida	0,036	0,038
CI de grava con balasto	22	80	359	0,029	0,033
CI de jardín colgante [Dow/OFI 2003]	22	60	459	0,029	0,033
Perímetro por debajo del nivel freático [Hafer 2006]	5	60	357	0,031	0,035

¹⁾ Muestra no acondicionada, tal y como se recogió directamente del edificio.

²⁾ Valores de diseño conforme a normas nacionales de Austria, Alemania y Suiza.



Figura 7. Corte transversal de la plancha de aislamiento de ROOF-MATE después de 32 años en servicio en una cubierta invertida fuera de la capa de impermeabilización [Dow/FIW 2004]

Por tanto, las prestaciones a largo plazo del XPS son de gran interés.

Los productos de XPS han sido sometidos a ensayos después de 5 a 22 años en servicio en distintas aplicaciones en cubiertas y en el aislamiento de muros enterrados por debajo del nivel freático.

Los resultados se resumen en la tabla 5.

La muestra ilustrada en la figura 7 se tomó de la cubierta y se cortó por la mitad para comprobar si la estructura de la espuma se había deteriorado con el paso del tiempo. No se detectaron cambios en la estructura de las celdas, lo cual explica por qué las propiedades de la espuma prácticamente no cambiaron.

3. REFERENCIAS

EC2004 «Durability and the Construction Products Directive», Comisión Europea, DG Enterprise and Industry, Bruselas, Dic. 2004.
 CEPMC2005 «Durability of the performance of construction products», CEPMC, Bruselas, Sept. 2005.
 EOTA1999 «Assumption of working life of construction

products in ETAG, ETA and harmonized standards», Documento Guía 002, Bruselas, Dic. 1999.
 EN12088 «Thermal insulating products for building applications – Determination of long term water absorption by diffusion».
 EN12091 «Thermal insulating products for building applications- Determination of freeze-thaw resistance».
 EN14934 2007 «Thermal insulation and light weight fill products for civil engineering applications – Factory made products of extruded polystyrene (XPS) – specification.
 EN13164 «Thermal insulation products for buildings- Factory made extruded polystyrene foam products (XPS)».
 EN1606 «Thermal insulating products for building applications – Determination of compressive creep».
 Merkel,H., 2004 «Determination of Long-Term mechanical Properties for Thermal».
 Insulation under Foundations. BUILDINGS IX, Proc. International Conference
 Clearwater, Florida 2004, ASHRAE 2004
 Polukhina, L.A., Nikitin, V.P, Shestakov, V.N., 2003 «Study of the operating condition of the Omsk-Novosibirsk motorway section (km 1304, PK 101+40 – PK 106+00) with STYROFOAM foamed plastic heat insulating layers» (in Russian) , Siberian state road transport academy, Research Division, Omsk 2003.
 Schäfer,WV., von Rekowski, Rahn,A., 2006, «Es grünt so grün auf den Umkehrdächern – Ein Erfahrungsbericht von Dow», Schwalbach 2006
 MBJ Bauphysik+Akustik AG, 2005, «Untersuchungsbericht Umkehrdach mit Roofmate SL-A», Kirchberg 2005, Schweiz
 Dow/OFI, 2003, Erfahrungsbericht Erdfunkstelle Aflenz, Dow Building Solutions/Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik, Wien 2003
 Hafer, K., 2006, Langzeitverhalten von Wärmedämmplatten aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) im Grundwasserbereich, Köln 2006
 Dow/FIW, 2004, «32 Jahre Umkehrdach», Schwalbach, München 2004 ■