UNIÓN EUROPEA PARA LA IDONEIDAD TÉCNICA EN LA CONSTRUCCIÓN

julio, 1996

INFORME TÉCNICO DE LA UEAtc PARA LA EVALUACIÓN DE LAS OBRAS REALIZADAS CON PANELES SANDWICH DE ESPUMA DE POLIURETANO SIN CFC

800-2

El presente Documento ha sido elaborado por:

- EL British Board of Agrement (BBA), representando al Reino Unido,
- El Stichting Bouwkwaliiteit (SBK), representando a los Países Bajos.
- Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), representando a Francia,
- El Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), representando a Dinamarca,
- El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC), representando a España,
- El Instituto Centrale per l'Industrializzazione et la Tecnologia Edilizia (ICITE), representando a Italia,
- El Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC), representando a Portugal,
- La Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBAtc), representando a Bélgica,
- Le Technical Research Center of Finland (VTT), representando a Finlandia
- Le Norwegian Building Research Institute (NBI), representando a Noruega,
- L'Irish Agrement Board (IBA), representando a Irlanda,
- Egitesügyi Minőségellenőrző Intézet (EMI), representando a Hungría
- El Instytut Techniki Budowlanej (ITB), representado a Polonia,
- El Swedish Institute for Technical Approval (SITAC), representado a Suecia,
- El Institutul de cercetari in Constructii si Economia Constructiilor (INCERC), representando a Rumania.

El CSTB actuó como ponente.

Cada Instituto miembro aplica este documento para la concesión en su país de los Documentos de Idoneidad Técnica, reconocidos por otros miembros.

Miembros de la EPPF (European Profiles and Pannels Producers Federation) han participado en los trabajos y contribuido a la elaboración de este documento

TRADUCCIÓN Y ADAPTACIÓN: J.M. Bielza, Dr. en C. Químicas.
REVISIÓN: A. Blázquez, Arquitecto

PRESENTACIÓN

Este Informe Técnico, en vigor desde julio 1996, se refiere a la metodología para la evaluación técnica de los paneles sandwich con espuma de Poliuretano (PU) sin CFC, para cubiertas y fachadas, incluidas las cámaras frigoríficas.

La elaboración de este Informe es consecuencia de la ausencia de normas, tanto en el ámbito nacional como europeo.

Con relación a las Guías Técnicas de la UEAtc, constituye más una base de referencia general que un modelo rígido a seguir por el Instituto de evaluación.

En este caso, se trata de proponer métodos que permitan la evaluación de los paneles sandwich con espuma de poliuretano sin CFC y, en particular, los aspectos relacionados con la ausencia de CFC.

Sin embargo, como no existe documento de referencia general concerniente a los otros criterios de utilización de estos productos, parece útil dar los principios a seguir para determinar su aptitud al empleo.

Su objetivo es conseguir que todos los Países Miembros realicen de igual forma la evaluación técnica de la aptitud al empleo, en este caso de los paneles sandwich con espuma de PU sin CFC. De este modo, se facilita, en consecuencia, el intercambio de productos y técnicas entre Países Miembros de la Comunidad Europea, mediante el procedimiento de confirmación de los documentos de idoneidad técnica (D.I.T.), establecido por la UEAtc y cuando todos sus miembros utilizan para ello Informes Técnicos comunes, como el presente.

J.M. Bielza

Dr. en Ciencias Químicas

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	5
1.1 Campo de aplicación	5
1.1.1 Utilización en fachada	5
1.1.2 Utilización en cubierta	5
1.1.3 Geometría de los cerramientos	5
1.1.4 Estabilidad de la obra	5
1.2 Documentos de referencia	6
1.2.1 Documentos relativos a las unidades de obra	6
1.2.2 Documentos relativos a los productos	6
1.3 Denominación e identificación	6
1.3.1 Paneles sandwich	6
1.3.2 Tipo de obra y colocación	7
CAPÍTULO 2. CARACTERES A EVALUAR	7
2.1 Resistencia mecánica y rigidez	7
2.1.1 Generalidades	7
2.1.2 Resistencia mecánica y rigidez propia de los paneles	7
2.1.3 Deformación	8
2.1.4 Comportamiento a las acciones térmicas	8
2.1.5 Resistencia mecánica de las fijaciones y accesorios	8
2.1.6 Resistencia mecánica a los choques	8
2.2 Seguridad de los aplicadores	8
2.3 Seguridad en caso de incendio	9

ÍNDICE (cont.)

	Pág.
2.4 Estanquidad al agua y permeabilidad al aire	9
2.5 Durabilidad	9
2.5.1 Durabilidad de los revestimientos	9
2.5.2 Durabilidad intrínseca de la espuma	9
2.5.3 Durabilidad de los paneles desde el punto de vista de la resistencia mecánica y durabilidad	9
2.5.4 Compatibilidad	9
2.5.5 Durabilidad de los accesorios	9
2.6 Aislamiento térmico	9
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN	10
3.1 Resistencia mecánica y rigidez	10
3.1.1 Generalidades	10
3.1.2 Resistencia mecánica y rigidez	10
3.1.3 Deformación	13
3.1.4 Efectos térmicos	14
3.1.5 Resistencia de las fijaciones y sus uniones	14
3.1.6 Resistencia mecánica a los choques	16
3.2 Seguridad de los aplicadores	17
3.3 Seguridad en caso de incendio	17
3.4 Estanquidad y permeabilidad al aire	17
3.5 Durabilidad	17
3.5.1 Durabilidad de la espuma	17
3.5.2 Durabilidad de los paneles	17
3.5.3 Durabilidad de los accesorios	17
3.5.4 Caso particular de las cámaras frigoríficas	18
3.6 Aislamiento térmico. Medida de la conductividad térmica	18
3.6.1 Identificación del gas de expansión	18
3.6.2 Programa de ensayos	18
CAPÍTULO 4. CONTROL DE PRODUCCIÓN	19
4.1 Control interno	19
4.1.1 Espuma de poliuretano	19
4.1.2 Chapas	19
4.1.3 Producto acabado	19
4.2 Supervisión del control interno por organismo externo	19
ANEXOS INFORMATIVOS	20
Anexo 1 - Cálculo del coeficiente de transmisión térmica media	20
Anexo 2 - Descripción de los ensayos que permiten medir las características mecánicas de la espuma	21

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Campo de aplicación

Este Informe se refiere a los cerramientos de fachadas y cubiertas realizadas con paneles sandwich, constituidos por chapas metálicas, de acero, acero inoxidable o aluminio¹ relleno y aislante de espuma de Poliuretano sin CFC.

También puede aplicarse, en lo que respecta a los paneles sandwich y sus uniones, a las cámaras frigoríficas.

Los paneles sandwich contemplados aquí son aquéllos para los que la rigidez es superior a la suma de las rigideces de cada una de las chapas.

1.1.1 Utilización en fachada²

Los paneles utilizados en fachada pueden colocarse

- Verticalmente: los lados longitudinales están verticales y las juntas transversales horizontales.

- Horizontalmente: los lados longitudinales están horizontales y las juntas transversales verticales.

- En posición oblicua: los lados longitudinales están inclinados y los transversales inclinados o verticales.

Con ajuste a los cuatro lados

Los paneles, generalmente poseen perfiles de unión con los paneles adyacentes sobre los lados longitudinales. Igualmente pueden unirse sobre los lados transversales.

Comentario:

La realización de juntas transversales en cámaras frigoríficas presenta dificultades; así, los movimientos relativos previsible en los extremos de los paneles, implican que la concepción de las juntas transversales tenga en cuenta, especialmente en cuanto a la estanquidad al agua, disposiciones que puedan compatibilizarse con la necesidad de tener una continuidad de aislamiento térmico y estanquidad al vapor de agua de la cara exterior. Por ello, es preferible realizar la fachada con paneles cuya longitud sea igual a la altura de la fachada. Las colocaciones horizontal, oblicua o con ajuste a los cuatro lados no se aconsejan para este uso.

La realización de juntas transversales cuando los paneles están verticales u oblicuos requiere precauciones; así, la extremidad de la junta longitudinal presenta una discontinuidad en su encuentro con la transversal, que conviene obturar para evitar que el agua circulante en la junta horizontal pase a la parte posterior del plano de estanquidad de la junta transversal. Esta discontinuidad también se presenta cuando los paneles son nervados en sus extremos.

1.1.2 Utilización en cubierta²

Los paneles utilizados en cubierta se colocan con sus lados longitudinales paralelos a la pendiente de la cubierta.

1.1.3 Geometría de los cerramientos

Desde el punto de vista mecánico, se distinguen:

- chapas planas
- chapas poco nervadas (altura inferior a 8 mm)
- chapas medianamente nervadas (altura igual o superior a 8 mm) que intervienen en el dimensionado por cálculo de los paneles
- chapas muy nervadas (altura superior a 35 mm) que juegan, además, su papel en el comportamiento de las obras, desde el punto de vista de otras funciones (estanquidad de las cubiertas, p.ej.)

1.1.4 Estabilidad de la obra

La estabilidad, total o parcial del edificio, debe estar asegurada sin la participación de los paneles sandwich.

¹ Pueden utilizarse otros materiales (cobre, cinc, etc.) con las necesarias adecuaciones

² No es posible fijar límite de pendiente entre cubierta y fachada. Este límite depende de la tecnología de las juntas, algunas, pueden ser ineficaces desde el punto de vista de la estanquidad al agua, cuando se aparta de la posición vertical; otras, pueden aceptar inclinaciones del orden de 15°. La inclinación también depende de las reglas nacionales; en concreto, respecto a la acumulación de nieve.

1.2 Documentos de referencia

1.2.1 Documentos relativos a las unidades de obra

Guía Técnica³ de la UEAtc para la evaluación técnica de fachadas ligeras.

Guía de la UEAtc relativas a los choques sobre obras verticales opacas.

1.2.2 Documentos relativos a los productos

. Paneles

Recomendaciones previas del CECM⁴ para los paneles sandwich.

1ª parte.- Determinación de las propiedades y características mecánicas.

Cálculos- ensayos- controles- aseguramiento de la calidad.

2ª Parte.- Guía de buena práctica relativa a los productos y obras de cubierta y fachada.

. Materiales

NORMAS DE ACERO REVESTIDO

NE 10147: bandas (chapas y bobinas), de acero de construcción, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.

NE 10214: bandas (chapas y bobinas), de acero, revestidas en continuo, con aleación cinc-aluminio (ZA). Condiciones técnicas de suministro.

NE 10215: bandas (chapas y bobinas), de acero, revestidas en continuo, con aluminio-cinc (AZ). Condiciones técnicas de suministro.

NE 10142: bandas (chapas y bobinas), de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente (para los accesorios de acabado).

NE 10143: bandas (chapas y bobinas), de acero de construcción, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Tolerancias dimensionales y de forma.

prNE 10169-1: chapas de acero, revestidas en continuo, con materias orgánicas (prelacado). Parte 1: información general (definiciones, materiales, tolerancias, métodos de ensayo).

NORMAS DE ACERO INOXIDABLE

NE 10088-1: aceros inoxidable. Parte 1: lista de los aceros inoxidables

NE 10088-2: aceros inoxidable. Parte 2: condiciones técnicas de suministro de chapas y bobinas para uso general.

NORMAS DE BANDAS DE ALUMINIO

NE 573: Aluminio y aleaciones. Composición química

NE 485: Aluminio y aleaciones. Bobinas y chapas gruesas

NE 515: Aluminio y aleaciones. Productos de corrosión

1.3 Denominación e identificación

El DIT debe indicar:

1.3.1 Paneles sandwich

1.3.1.1 Chapas metálicas

- material y características mecánicas,
- espesor y tolerancias,
- geometría, nervadura con esquemas acotados,
- tipo de revestimiento, espesor, espesor de lacado,
- campo de utilización de cada revestimiento y métodos de mantenimiento previstos,
- preparación previa de la cara pegada a la espuma.

1.3.1.2 Espuma

- referencia de la mezcla,
- referencia de los componentes y composición,

³ Antiguas Directrices.

⁴ Los documentos se obtienen en la Secretaría General del CECM, Av. des Ombrages 32/36 -BP 2p B 1200 BRUXELLES (BÉLGIQUE).

- polioles (%), isocianatos (%) y catalizador (%),
- referencia del gas de expansión utilizado (%) (la naturaleza del gas se comunicará, en su caso, de forma confidencial),
- densidad, características mecánicas y tolerancias⁵.

1.3.1.3 Paneles

Geometría: esquemas acotados, indicando las tolerancias dimensionales

1.3.2 Tipo de obra y colocación

- fachada y/o cubierta, cámara frigorífica,
- inclinación, máxima y mínima,
- naturaleza de la estructura auxiliar, longitud de apoyos, deformabilidad,
- modo de fijación y uniones,
- juntas longitudinales y transversales con esquemas acotados, e indicación de tolerancias dimensionales,
- realización de puntos singulares:

- . ángulos, bordes, cumbrera, alero con esquemas acotados e indicación de accesorios,
- . juntas de dilatación,
- . juntas transversales,
- . realización de huecos (ventanas y puertas en cerramientos, huecos en cubierta).

Comentarios:

- . *Para cámaras frigoríficas, la unión de los paneles y las disposiciones para la realización de puntos singulares deben ser tal que el cerramiento exterior constituya una barrera al vapor. Los materiales de las juntas deben elegirse en función de su impermeabilidad al vapor, asegurando la durabilidad de esta función, principalmente en la interfase material de junta-chapa del panel, fundamentalmente en razón a los movimientos relativos entre paneles adyacentes. La realización de las ventanas en las cámaras presenta dificultades de realización que conviene considerar con atención.*
- . *Las puertas corresponden a tecnologías específicas que no se recogen en la evaluación del sistema.*

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS A EVALUAR

2.1 Resistencia mecánica y rigidez

2.1.1 Generalidades

Conviene recordar que la estabilidad total o parcial del edificio debe estar asegurada sin la participación de los paneles sandwich.

Debe tenerse en cuenta su resistencia mecánica y rigidez bajo acciones climáticas, nieve (de corta o larga duración), viento y acciones térmicas.

Conviene apreciar:

- la resistencia mecánica de los paneles, en la zona media, en la zona próxima a las fijaciones y en los apoyos,
- la rigidez de los paneles,
- el comportamiento a las acciones térmicas,
- la deformación,
- la resistencia mecánica de las fijaciones y accesorios.

El DIT dará, en función de la carga aplicada, la luz entre apoyos posible que satisface estos criterios, en forma de ábacos o tablas⁶.

2.1.2 Resistencia mecánica y rigidez propia de los paneles

Debe indicarse que la deformabilidad admitida de los paneles difiere según el país de utilización.

Se podrá tomar una deformación de 1/200 de la luz entre apoyos, en ausencia de especificación. El DIT deberá indicar la deformación que se ha tenido en cuenta para el establecimiento de los ábacos o tablas.

Respecto a la resistencia, se contemplan cinco tipos de fallos:

- rotura por tracción de una de las caras,
- pandeo de una de las caras,
- aplastamiento sobre los apoyos,
- rotura por cizallamiento de la espuma,
- pérdida de adherencia entre la espuma y las caras.

El DIT indicará, como ábacos o tablas de resultados, si la limitación es debida a una deformación importante o por rotura.

El DIT indicará los coeficientes de seguridad que se han tenido en cuenta. Estos pueden corresponder a:

- los materiales utilizados⁷
- los paneles en su conjunto⁸

⁵ La tolerancia admitida para la densidad, por lo general, es de $\pm 3\text{kg/m}^3$.

⁶ Los ábacos o tablas los propone el fabricante, indicando la forma en que se han establecido.

⁷ En ausencia de coeficientes nacionales, se tomarán los de las recomendaciones previas (CECM recientes).

⁸ El coeficiente de seguridad a aplicar a la resistencia global de los paneles determinado experimentalmente no será menor de 2 en relación a las cargas admisibles en servicio.

2.1.3 Deformación

Para los paneles de cubierta y según las reglas nacionales, donde se prevean cargas de nieve de larga duración, la deformación permanente de los paneles deberá ser tal que, sumada a la carga instantánea de viento, la deformación total sea inferior al límite admitido (1/200 de la luz entre ejes salvo especificación nacional distinta). El DIT indicará si se ha tenido en cuenta la carga de nieve de larga duración.

2.1.4 Comportamiento a las acciones térmicas

Cuando se someten las dos caras a temperaturas diferentes, se produce una deformación cilíndrica en los paneles.

Esta deformación provoca otros esfuerzos en la espuma, caras, fijaciones y accesorios⁹.

Sin embargo, el esfuerzo resultante sobre las fijaciones es difícil de apreciar, ya que depende de la deformación de los elementos de fijación y de la estructura sobre la que se fijan los paneles. La deformación potencial de los paneles está impedida, en mayor o menor medida, por las fijaciones.

Puede producirse una deformación molesta desde el punto de vista estético.

El DIT proveerá los medios para apreciar la curvatura de los paneles (radio de curvatura), o la flecha y los esfuerzos resultantes sobre los apoyos intermedios.

Las temperaturas de las caras exteriores a tener en cuenta, a título indicativo y para las zonas templadas de Europa, son:

- . colores muy claros: 55 °C (coeficiente reflexión energética 75-90%)
- . colores claros: 65 °C (coeficiente reflexión energética 40-74%)
- . colores oscuros: 80 °C (coeficiente reflexión energética 8-39%)

Para las caras interiores:

- la temperatura interior de los locales, de 20 °C en invierno, 25 °C en verano,
- la temperatura establecida en el caso de los edificios refrigerados.

Las temperaturas de las caras exteriores serán de -20 °C en invierno (-40 °C en los países escandinavos).

⁹ La toma en consideración de estas solicitaciones depende de los usos nacionales, sobre todo en lo concerniente a su combinación (viento, nieve, efecto térmico).

2.1.5 Resistencia mecánica de las fijaciones y accesorios

Se distinguen cuatro tipos de comportamientos a la rotura de los elementos de fijación de los paneles a la estructura auxiliar:

a) delaminación o pelado (Figura 1)

Fig. 1

b) perforación (Figura 2)

Fig. 2

c) arrancamiento de la fijación del soporte

d) rotura por tracción del elemento de fijación

El Instituto evaluador apreciará, según el modo de fijación empleado, los modos de rotura esperados, ya que ciertas roturas pueden combinar varios tipos.

2.1.6 Resistencia mecánica a los choques

Con relación a la resistencia a los choques de seguridad, los paneles sandwich, de modo general, no presentan problemas cuando las fijaciones atraviesan el espesor de los paneles o una de sus caras.

Puede resultar necesario un ensayo de comprobación, cuando los ensayos de resistencia de las uniones muestran que, bajo flexión del panel, puede producirse desacoplamiento, con caída del panel.

2.2 Seguridad de los aplicadores

Durante la aplicación, fundamentalmente de los paneles de cubierta, los paneles todavía sin fijar, deben poder soportar la carga correspondiente a las operaciones de montaje.

2.3 Seguridad en caso de incendio

En el estado actual, conviene referirse a las reglas nacionales.

2.4 Estanquidad al agua y permeabilidad al aire

La apreciación de las prestaciones se realiza por el examen de las disposiciones constructivas, salvo en casos excepcionales. En particular, cuando se refiere a una junta comprimida, se verificará:

- que el nivel de compresión, teniendo en cuenta las tolerancias dimensionales de montaje, es capaz de aportar la estanquidad al aire requerida,
- que la fuerza necesaria para esta compresión es compatible con los métodos de aplicación,
- que la junta mantendrá una elasticidad suficiente para que el esfuerzo de compresión no descienda demasiado.

En cubierta, las disposiciones adoptadas deben ser conformes con las reglas habituales¹⁰ con respecto a las pendientes y recubrimientos mínimos, en función de la anchura del vierteaguas y la existencia o no de juntas transversales.

Para fachadas, se puede recurrir a un método experimental utilizando los equipos y métodos de ensayo, que se describen en las Guías de la UEAtc existentes:

- Guía de ventanas de la UEAtc, para la estanquidad al aire,
- Guías de fachadas ligeras de la UEAtc, para la estanquidad al agua.

El DIT indicará el nivel de presión para el que se produce un defecto en la estanquidad al agua y el flujo de aire para presiones de 100 a 500 Pa.

Hay que hacer notar que las prestaciones de permeabilidad al aire dependerán del cuidado durante la realización de las obras. Así, muy frecuentemente, el plano de estanquidad al aire de las juntas longitudinales es diferente al plano de estanquidad al aire de las juntas transversales. Hay que verificar la continuidad de la junta en las uniones de ambas.

2.5 Durabilidad

2.5.1 Durabilidad de los revestimientos

La experiencia adquirida en materia de utilización de los revestimientos se contempla en los códigos de buena práctica nacionales, en función de las zonas atmosféricas del país.

¹⁰ Estas reglas vienen dadas por la experiencia en el uso en cubierta de placas nervadas.

Por definición de estas zonas, podrá remitirse a la clasificación de los medioambientes, dados por la norma ISO/DIS 12944-2.

2.5.2 Durabilidad intrínseca de la espuma

Bajo las diferentes acciones mecánicas e higrotérmicas, temperatura, humedad, la espuma no presentará modificaciones significativas de sus prestaciones y tendrá una estabilidad dimensional conveniente (variación menor del 3%).

2.5.3 Durabilidad de los paneles desde el punto de vista de la resistencia mecánica y durabilidad

Bajo las acciones térmicas, el panel presentará:

- buena adherencia espuma-pared
- deformación residual aceptable

2.5.4 Compatibilidad

No se debe presentar incompatibilidad entre los materiales, y en particular, entre:

- los revestimientos interiores de las caras y la espuma,
- material de las juntas y la espuma,
- material de las juntas y revestimiento de las caras.

2.5.5 Durabilidad de los accesorios

Los accesorios deberán tener una durabilidad equivalente¹¹ a la de los paneles, y en particular, los:

- elementos de unión,
- material de juntas,
- perfil de acabado.

2.6 Aislamiento térmico

La conductividad térmica de la espuma evoluciona en función de la modificación de la concentración gaseosa en las celdas. El DIT recogerá datos de:

- conductividad térmica inicial,
- conductividad térmica después del envejecimiento convencional,
- valor útil de la conductividad térmica de cada país deducidos los valores anteriores, aplicando un factor de corrección, teniendo en cuenta:

¹¹ Podría admitirse una durabilidad inferior para los elementos fácilmente reemplazables. Se entiende por tal:

- sustitución, sin desmontar los elementos principales de la cubierta o fachada,
- facilidad de suministro.

- la incertidumbre sobre la evolución del valor de la conductividad dependiendo del gas utilizado,
- de la continuidad de la producción. Este valor dependerá del nivel de controles de producción establecidos y de la existencia o no del seguimiento por organismo externo.

El DIT indicará el valor del coeficiente de transmisión térmica media y explicará cómo se ha determinado. (En el anexo informativo se recoge un método para tener en cuenta, principalmente las nervaduras de los paneles).

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN

3.1. Resistencia mecánica y rigidez

3.1.1. Generalidades

El DIT indica, en forma de ábacos o tablas, la relación entre carga aplicada y luz entre apoyos, según propuesta del fabricante o, si fuera el caso, con ayuda del Instituto evaluador, indicando el fabricante cómo se han establecido. El Instituto evaluador los reconoce.

3.1.2 Resistencia mecánica y rigidez

El Instituto evaluador debe disponer de los informes de ensayo correspondientes al establecimiento de las tablas y verifica se han establecido según uno de los tres métodos siguientes:

3.1.2.1 Método experimental

a) Definición del programa de ensayos a realizar

Se distinguen varios casos, según:

- la dirección de las fuerzas: presión o depresión¹²
- la simetría o asimetría de los paneles (semejanza de los materiales, espesores, nervadura)

En cada caso, se realizarán las partes del programa descrito en el párrafo b), según la tabla 1, que precisa, igualmente, el modo de fijación de los paneles a utilizar en los ensayos.

Nota: Las fijaciones utilizadas son similares a las utilizadas en la práctica.

b) Descripción de los ensayos

Parte I: Ensayo de flexión

Los ensayos se efectúan por flexión, sobre dos y tres apoyos.

¹² Por acuerdo, "presión" es la dirección de las fuerzas que apoyan el panel sobre los soportes, "depresión" es la que tiende a arrancar el panel del soporte.

El programa de ensayo se realizará sobre paneles acabados y cubrirá la gama de tipos y espesores propuestos con, al menos:

- espesor máximo
- espesor mínimo
- uno o varios espesores intermedios, con una separación máxima entre espesores, no superando los 30 mm.

Sobre un mismo tipo de panel y hasta su rotura, se realizan los siguientes ensayos.

- sobre la luz máxima de utilización prevista por el fabricante o dentro de los límites de la instalación de ensayo.
- sobre la luz mínima de utilización prevista por el fabricante.
- sobre una luz intermedia (próxima a la media aritmética entre las luces máxima y mínima previstas).

Expresión de los resultados:

Se suministra para cada ensayo las cargas características correspondientes a los criterios siguientes:

- flecha de 1/200 de la luz
- rotura

Se suministra, complementariamente:

- tipo de rotura del panel
- curvas flecha/carga
- la rigidez en flexión aparente calculada (EI convencional)
- observaciones durante el ensayo

Disposición del ensayo: pueden utilizarse 3 métodos.

a) Carga lineal

a.1) Panel sobre dos apoyos (Fig. 3)

Fig. 3

TABLA 1

	Paneles simétricos	Paneles asimétricos
Presión	Parte I: paneles sueltos ¹³ y Parte II:	Parte I: paneles sueltos y Parte II:
Depresión	Parte I: paneles fijados con la cantidad mínima de fijación prevista o Parte III:	Parte I: paneles sueltos (vuelto sobre apoyos) y Parte III: o Parte I: paneles fijados con la cantidad mínima de fijación prevista

a.2) Panel sobre tres apoyos (Fig. 4)

Fig. 4

¹³ Si se dispone de ensayos de paneles fijados, se realizará un ensayo sobre panel suelto para apreciar la incidencia de las fijaciones sobre la rigidez de los paneles.

b) Sobre cámara de vacío (carga uniformemente repartida) (Fig. 5)

Sección longitudinal

Sección transversal

Fig. 5.- Dispositivo de ensayo de la cámara de vacío (ejemplo de aplicación para panel sobre dos apoyos).

c) Sobre cámara de ensayos de ventanas o fachadas (carga uniformemente repartida) (Fig. 6)

Fig. 6.- Dispositivo de ensayo en la cámara de viento.

Nota: para efectuar el ensayo de esta manera, es necesario disponer de un compresor de gran potencia y gran caudal. Hay que dejar los bordes libres a la deformación, por lo que es necesario prever un espacio entre la cámara y el panel, que permita la salida del aire.

Parte II: Reacción en el apoyo

El ensayo se realiza bajo presión sobre 3 apoyos para el mayor espesor y la luz más corta.

Se inician los ciclos de carga-descarga por escalones crecientes de 300 Pa como máximo.

Se anota la flecha residual después de cada escalón de carga y se determina la reacción máxima admisible sobre el apoyo intermedio.

Esta reacción en el apoyo es la que produce una deformación permanente superior al 2% del espesor del panel dividido por un coeficiente de 1,5.

Fig. 7.- Dispositivo de ensayo para la determinación de la reacción en el apoyo.

Parte III: Resistencia del panel en la proximidad de las uniones

Se consideran dos casos:

A) Caso de fijaciones que atraviesan el panel

Las roturas son de tipo b, c y d. En este caso se aplica el siguiente proceso de experimentación.

Se deben realizar ensayos de depresión sobre dos apoyos, paneles fijados por cuatro elementos de fijación con resistencia admisible R_a conocida. El ensayo tiene por objeto verificar que para cada elemento de fijación solicitado a 2 veces R_a , la concentración de esfuerzo en la proximidad de las fijaciones no produce la rotura zonal del panel. El panel fijado recibirá, pues, una carga total de 8 R_a . Se elegirá la luz de manera que, bajo esta carga, no se produzca rotura en la zona media del panel; a este respecto, se referirá a las prestaciones del panel establecidas por los ensayos de flexión.

Igualmente, se realiza un ensayo de depresión sobre 3 apoyos para el espesor mayor, en las mismas condiciones que para dos apoyos.

El ensayo se efectúa sobre:

- espesor máximo
- espesor mínimo
- espesores intermedios con saltos de espesor no superiores a 30 mm.

B) Caso de fijaciones ocultas

La rotura, en general, es de tipo a. En este caso se realiza el ensayo conforme al párrafo 3.1.5.2.

3.1.2.2 Por cálculo

El cálculo resulta de una modelización del comportamiento.

La base del modelo a utilizar es el que se ha dado en las recomendaciones previas CECM, Parte Anexo A. El solicitante indicará, con relación a este modelo, las diferencias introducidas, en su caso.

El Instituto evaluador verificará la pertinencia del cálculo y procederá a una evaluación experimental por ensayos sobre paneles a escala real. En función de las disposiciones previstas por el fabricante (colocación sobre dos o más apoyos), el Instituto determinará la evaluación experimental más representativa a razón de:

- . 1 ensayo sobre tres apoyos por tipo de panel, con intervalos de espesor no superiores a 30 mm.
- . 1 ensayo sobre dos apoyos por tipo de panel, para una luz y espesor medio de la gama.

Los datos necesarios para el cálculo se determinarán según el capítulo 5 de las recomendaciones CECM, sobre:

- resistencia a la tracción perpendicular de la espuma (párrafo 5.2.1),
- resistencia a la compresión (párrafo 5.2.2),
- resistencia al cizallamiento y módulo de cizallamiento (párrafo 5.2.3),
- resistencia al aplastamiento sobre apoyo (párrafo 5.2.8),
- tensión de plegado (párrafo 5.2.7.3).

Los tipos de ensayo se dan en el anexo de este documento.

3.1.2.3 Método mixto

Teniendo en cuenta el número de variantes que pueden encontrarse en un sistema de paneles sandwich y con el fin de limitar el número de ensayos, pueden establecerse las tablas según un método que tome en consideración, a la vez, la experimentación y el cálculo.

También puede darse el caso de que, con las tablas ya establecidas, el fabricante deba modificar parámetros en la constitución de los paneles para satisfacer la demanda del mercado.

Las modificaciones pueden interesar a:

- espesor de los paneles,
- espesor de las caras,
- naturaleza del acero o aluminio, constituyentes de las caras,
- dentro de la categoría de chapas planas o poco nervadas:
- . modificación de las nervaduras
- . creación de nervaduras
- . supresión de nervaduras
- aislante (prestaciones mecánicas).

A partir de las prestaciones establecidas, el cálculo puede permitir una extrapolación de resultados, o una interpolación más precisa que la lineal.

Los resultados serán comprobados experimentalmente sobre paneles, a escala real, representativos del motivo de la ampliación. Por ejemplo, si se modifica el espesor de la chapa, para una gama de espesores de paneles, la aprobación sólo se realizará para un espesor de panel.

En todo caso, el panel se elegirá de manera que ponga en juego la característica modificada. Por ejemplo, si se modifica la espuma, cuyo módulo de cizallamiento es menor, se elegirá para la comprobación experimental un panel en el que espesor y luz lleven a una deformación, por esfuerzo cortante, significativa.

3.1.3 Deformación (únicamente panel de cubierta)

3.1.3.1 Aproximación experimental¹⁴

Se realiza este ensayo en un local, en el que las condiciones ambientales (temperatura y humedad) no sufran variaciones significativas ($\Delta T \leq \pm 3^\circ \text{C}$ - $\Delta \text{HR} \leq \pm 15\% \text{ HR}$).

En el caso de una serie de paneles con espesores de espuma diferentes, el ensayo se efectúa sobre el mayor espesor de aislante.

El ensayo se realiza en un panel sobre tres apoyos, y para la luz máxima de ejecución, en las condiciones de empleo previstas para la carga P.

Se aplica y mantiene sobre el panel, una carga repartida P (correspondiente a la carga de nieve prevista por el fabricante).

Se suministra:

- curva deformación/tiempo (a 1, 2, 4, 8, 15, 30 días... hasta 2.000 h),
- rigidez en flexión aparente (EI convencional)
- módulo de deformación
- deformaciones residuales después de la descarga (y estabilización de 24 h)

Interpretación: el módulo de deformación obtenido se aplica como factor de corrección de la rigidez en flexión aparente, resultante de los ensayos de carga descendente instantánea, a fin de que la flecha diferida bajo la acción de las cargas de nieve no superen el 1/200 de la luz.

¹⁴ En la medida en que la determinación de la luz se efectúa considerando sólo la rigidez del panel superior, estas luces pueden considerarse aceptables, sin otra justificación.

3.1.3.2 Aproximación de cálculo

Las recomendaciones CECM suministran en el párrafo 5.2.5 un método que permite apreciar la deformación de los paneles que también puede aplicarse.

3.1.4 Efectos térmicos

3.1.4.1 Generalidades

Se recuerda que las solicitaciones térmicas debidas a los efectos climáticos y equipamientos inducen a deformaciones y esfuerzos en los paneles y en las uniones.

La toma en consideración de estos efectos y su combinación con las otras solicitaciones (viento, nieve) son diferentes en los distintos países. En la mayoría de los casos, esta consideración sólo concierne a los propios paneles y no a sus uniones con la estructura.

Para tenerlo en cuenta, el DIT indicará el radio de curvatura tomado para los paneles fijados únicamente en sus extremos, en función de la diferencia de temperatura entre las dos caras.

3.1.4.2 Determinación de las acciones térmicas

Se efectúa esta determinación por cálculo basado en el método indicado en las recomendaciones previas CECM, concerniente únicamente al valor del radio de curvatura de los paneles.

Con relación a este método, el fabricante indicará las diferencias introducidas y el Instituto evaluador juzgará la congruencia de este método.

El Instituto evaluador procederá a una aprobación experimental del método, según el proceso descrito a continuación:

El ensayo se efectúa sobre la disposición siguiente:

- . Bancada metálica indeformable en posición horizontal, apoyos metálicos que permiten la fijación de los elementos.

- . El dispositivo de ensayo tiene tres apoyos de separación regulable, de modo que permita la aplicación de la luz máxima prevista para el tipo de panel ensayado.

- . El dispositivo de insolación artificial de la cara exterior está constituido por una serie de lámparas IR.

- . El control de la temperatura superficial se realiza por medio de termopares de contacto, dispuestos sobre las caras interior y exterior.

- Procedimiento de ensayo

- . La subida de la temperatura de la cara exterior, desde el ambiente hasta la máxima de ensayo (t_e) se efectúa por escalones de 10 °C cada cinco minutos, aproximadamente.

- . La temperatura máxima de ensayo t_e es de 90 °C, correspondiente a un Δt entre las caras de 60 °C.

En caso de superficie poco absorbente en la pared exterior ($\alpha < 0,6$), la temperatura (t_e) puede bajar a 70 °C.

El ensayo comporta dos fases:

- . la primera consiste en medir las deformaciones del panel, fijado, únicamente en los extremos (Fig. 8, Esquema 1), en función de la diferencia de temperatura.

Se mide la flecha f y se calcula el radio de curvatura por aplicación de la fórmula: $R = l^2/8f$

- . la segunda consiste en efectuar la subida de temperatura, fijándole en tres apoyos (Fig. 8, Esquema 2).

Se mide la flecha de cada tramo y la reacción H sobre el apoyo intermedio.

Se recoge:

- . la flecha en el apoyo intermedio, cuando se alcanza y mantiene la t_e .

- . el radio de curvatura R calculado,
- . las flechas correspondientes para las luces de utilización previstas.

- . el esfuerzo equivalente H dado sobre el apoyo intermedio correspondiente para cada una de las luces. Para ello, la viga de apoyo intermedio se une al banco de ensayo mediante el dinamómetro.

3.1.5 Resistencia de las fijaciones y sus uniones

3.1.5.1 Caso de roturas de tipo b, c y d

Los valores dados conciernen a la resistencia de las propias fijaciones. Estos valores se verifican con respecto a las uniones según la parte III del párrafo 3.1.2.1, que da los valores de cálculo.

3.1.5.1.1 Utilizando las fórmulas de cálculo de las recomendaciones CECM (párrafo 4.3)

La tabla 2, permite obtener los valores de cálculo de la resistencia de las fijaciones y sus uniones, sometidas a una carga cíclica debida al viento.

Fig. 8.- Dispositivo de ensayo de determinación de las acciones térmicas.

TABLA 2

Modo de rotura			Límite de aplicación de la fórmula
Perforación	Arrancamiento de la fijación del soporte	Rotura por tracción del elemento de fijación
Cara de acero $F_p = 0,55 t d_w f_u$ (ver notas b y c, al pie)	Soporte de acero $F_o = 0,65 t_1 d_n f_{uc}$	Resistencia característica en tracción de las fijaciones $> F_p \text{ ó } > F_o$	$0,5 \text{ mm} < t < 1,5 \text{ mm}$ $t_1 \geq 0,9 \text{ mm}$
Cara de aluminio $F_p = 0,48 t d_w f_u \sqrt{d_w/22}$ (ver nota c, al pie)	Soporte de aluminio $F_o = f_{uc} \sqrt{t_1^3} \cdot d_n$		$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 1,5 \text{ mm}$ $t_1 \geq 0,9 \text{ mm}$ para $f_u > 250 \text{ N/mm}^2$, tomar 250 N/mm^2 para $t_1 > 6 \text{ mm}$, tomar 6 mm
<p>t: espesor de la chapa de acero o aluminio, t_1: espesor del soporte d_w: diámetro de la arandela o cabeza del tornillo, d_n: diámetro nominal f_{uc}: resistencia a la rotura del soporte, f_u: resistencia a la rotura del metal de las caras. El menor de los valores F_o y F_p, se toma como resistencia de cálculo de las fijaciones. b) Fórmula válida si el esfuerzo se centra en el tornillo y si la diferencia entre el diámetro de la cabeza (o arandela) y del cuerpo del tornillo es superior a 7 mm. Si el esfuerzo está descentrado, se tomará $0,9F_p$. Si se utilizan dos tornillos a menor distancia de 70 mm, el factor es $0,7F_p$ para cada tornillo. c) Si $F_o < F_p$ < debe verificarse, asimismo, la rigidez de las fijaciones.</p>			

Para las fijaciones sometidas únicamente a una carga estática, se multiplican por 2.

3.1.5.1.2 Por utilización de los valores tipo

Estos valores se han obtenido de la experiencia adquirida sobre los paneles más frecuentes, la tabla 3 indica los valores de resistencia de cálculo expresados en daN para las fijaciones sometidas a una carga cíclica debida al viento. Para las fijaciones sometidas únicamente a carga estática, puede multiplicarse por 2, en el límite de los valores indicados en la columna correspondiente al espesor de la chapa de 1 mm.

Tabla extraída de las recomendaciones CECM y válida sólo para las caras en acero con límite elástico superior o igual a 320 N/mm².

La resistencia admisible se deduce aplicando un coeficiente de seguridad de 1,5.

3.1.5.2 Caso de roturas de tipo a

Las fijaciones sujetas a este tipo de rotura son p.ej. las fijaciones situadas en el encuentro longitudinal entre paneles y ocultas por éste.

La espuma o su unión con las caras está solicitada a tracción; en este caso, la resistencia es sensible a la repetición de esfuerzos a tracción y su verificación necesita un ensayo de carga cíclica.

Si se trata de un ensayo de verificación, el fabricante debe dar el valor C de la resistencia que desea tomar en consideración, que puede estimarse sobre la base de un ensayo estático¹⁵. Con este valor de C, se aplica una carga cíclica, teniendo en cuenta que el panel sea isostático, de forma que el esfuerzo aplicado sea realmente conocido.

Además, es aconsejable que el espesor y la luz se elijan de forma que bajo la carga total la deformación sea prácticamente igual a 1/200 de la luz.

El ensayo de carga cíclica debe seguir el programa siguiente:

50.000 ciclos entre C/4 y 3 C/4

20.000 ciclos entre C/2 y C

8.000 ciclos entre C/2 y 1,5 C

A continuación de los ciclos, se procede a un escalón de carga continua hasta rotura que debe llegar al menos hasta 2 C. El valor de cálculo a utilizar es de 1,5 C.

Comentario:

• Cuando los esfuerzos de viento aplicados sobre un panel son transmitidos a las fijaciones a través de las uniones, la carga se efectuará de manera que cada panel sea cargado individualmente (Fig. 9).

3.1.6 Resistencia mecánica a los choques

El ensayo realizado, en su caso, consiste en aplicar un

TABLA 3

Tipo de fijación(2)	Espesor de la chapa exterior (mm)			
	0,5	0,63 (1)	0,75	1,0
Tornillo ϕ 8, tornillo de madera ϕ 6 anclaje 50 mm	110	220	280	280
Gancho ϕ 7	110	170	170	170
Tornillo autorroscante ϕ 6,3 Tornillo autoperforado ϕ 5,5 - sobre acero $1,5 < e < 3,0$ mm - sobre acero $e > 3,0$ mm	110 110	220 220	280 300	280 450

(1) Válida para 0,60 mm, en chapa de acero inoxidable

(2) Con utilización de una arandela de ϕ 22 de 1 mm de espesor. Con utilización de grapas de espesor superior e igual al espesor de la chapa de la pared fijada, sin ser inferior a 0,75 mm, los valores pueden multiplicarse por 1,50 en el mismo caso, valores indicados en la columna correspondiente al espesor de la chapa de 1 mm.

¹⁵ La experiencia demuestra que debe tomarse un coeficiente del orden de 4 con relación a la carga estática, para obtener al menos 2, después de los ciclos de esfuerzo.

Fig. 9.- Sección transversal.

choque de cuerpo blando (ver Guía UEAtc de choques) con una energía de 900 J.

3.2 Seguridad de los aplicadores

En ausencia de disposición nacional específica, se referirá a la recomendación CECM (párrafo 5.210) que fija la aplicación de una carga de 2 kN sobre una superficie de 0,15x0,10 m, carga a la cual el panel no fijado, no debe sufrir deformación permanente.

3.3 Seguridad en caso de incendio (como recordatorio)

3.4 Estanquidad y permeabilidad al aire (como recordatorio)

3.5 Durabilidad

3.5.1 Durabilidad de la espuma

La conservación de las prestaciones propias de la espuma y la de sus características con incidencia sobre el comportamiento final de los paneles se aprecia experimentalmente por examen de la evolución de las características siguientes:

- estabilidad dimensional (párrafo 5.2.1.3, recomendación previa CECM)
- resistencia a la tracción perpendicular a las caras,
- resistencia a la compresión,
- flexión en cuatro puntos (sobre muestras con caras)

después de cada uno de los acondicionamientos siguientes y estabilización durante 24 h a temperatura ambiente:

- 7 días a 70 °C
- 3 horas a -20 °C
- 3 horas a 80 °C y 65% de HR.

Las variaciones dimensionales en las tres direcciones deben ser inferiores al 3%.

Las características mecánicas no deben presentar variaciones significativas.

Los ensayos deben realizarse sobre cinco probetas por espesor. Estos deben elegirse como se indica en el párrafo 3.6.2.1.

3.5.2 Durabilidad de los paneles

Este apartado tiene como fin evaluar el comportamiento de los paneles bajo los efectos de los choques térmicos.

El examen del comportamiento es experimental, sobre el aparato descrito en el párrafo 3.1.4, fijado el panel.

Se realizan tres ciclos, de la forma siguiente:

- . subida de la temperatura hasta la 90 °C o 70 °C si $< 0,6$, por escalones de 10 °C
- . mantener durante 3h la temperatura alcanzada
- . choque térmico (después de apagar el sistema de insulación) con ayuda de un chorro de agua fría a 10 °C/15 °C
- . estabilización al ambiente, al menos durante 2h. Se controla, a lo largo de los ciclos sucesivos, la reproducibilidad de las deformaciones f en función de la temperatura t_e y durante el período de estabilización de la temperatura.

Expresión e interpretación de los resultados

- se anotan las observaciones durante el ensayo:

- . despegues, fisuras de las caras
- . la deformación residual del panel después de los ciclos de ensayo.

Los diagramas de la figura 10 ilustran diferentes tipos de comportamiento.

3.5.3 Durabilidad de los accesorios

La durabilidad de los accesorios constituidos por perfiles de chapa plegada se apreciará de la misma forma que la de las caras de los paneles, con referencia al párrafo 2.5.1.

La apreciación de la durabilidad de los accesorios de estanquidad¹⁶, cordones conformados, perfiles de caucho,

¹⁶ El caso más frecuente es cuando los accesorios de estanquidad no son suministrados por el fabricante del panel y son suministrados por el instalador del país donde se instala.

perfiles de espuma, impregnados o no, se hará con referencia a las normas NE existentes o, en su caso, a las nacionales del país de origen.

3.5.4 Caso particular de las cámaras frigoríficas

En razón de la existencia de una alto gradiente de presión de vapor de agua del exterior al interior, es indispensable que la cara exterior sea estanca al vapor y que la continuidad de esta estanquidad se mantenga en las juntas.

La apreciación se funda en el examen de las disposiciones constructivas, productos utilizados, puesta en obra, etc.

Esquema de un ciclo

Deformaciones (f)

Descripción de un ensayo satisfactorio

Diagrama significativo de comportamiento

Probable despegue de una perforación durante el mantenimiento de temperatura

Contra-flecha residual importante después del 1º choque térmico y de agravamiento eventual en ciclos sucesivos

Fig. 10.- Diferentes tipos de comportamiento.

En el caso de los elementos de fijación que constituyen puente térmico (vástago de acero que atraviesa, p.ej.), se justificará que esta disposición no produce condensación superficial, o interna.

3.6 Aislamiento térmico. Medida de la conductividad térmica

3.6.1 Identificación del gas de expansión

La naturaleza del gas de expansión debe comunicarse al Instituto evaluador. El fabricante puede solicitar que figure esta indicación en el DIT, en forma de código.

El Instituto evaluador procede a la identificación del gas de expansión según el método que elija, que se indicará en el DIT. Uno de los métodos puede ser utilizando la cromatografía en fase gaseosa.

3.6.2 Programa de ensayos

3.6.2.1 Elección de espesores

Según la gama propuesta por el fabricante, los ensayos de la medida de la conductividad térmica se efectuarán sobre los siguientes espesores:

- espesores de 30 a 50 mm

- 1 espesor: 40 (ó 50) mm
- espesores de 30 a 100 mm
- 2 espesores: 40 (ó 50) mm y 70 (u 80) mm
- espesores de 30 a 200 mm
- 3 espesores: 40 (ó 50) mm; 80 (ó 100) mm y >130 mm

3.6.2.2 Muestras

Se eligen 4 muestras de la anchura del panel y de 1,20 m de longitud, de la línea de fábrica o de un lote significativo de producción.

- 1ª, para medir después de la estabilización a 20 °C (conductividad inicial),
- 2ª, para medir después del acondicionamiento,
- 3ª, para establecer la curva de variación de la conductividad térmica en función de la temperatura, después de la estabilización a 20 °C,
- 4ª, se conserva como testigo.

Sobre cada una de las muestras, se preparan dos probetas conforme a la norma ISO 8301, que represente la anchura del panel.

3.6.2.3 Acondicionamiento

Se aplicarán los siguientes acondicionamientos:

Estabilización: seis semanas a 20 °C, sobre paneles con sus caras.

Acondicionamiento: seis semanas a 20 °C, seguido de nueve semanas a 20 °C sobre paneles con sus caras.

3.6.2.4 Medición

Los ensayos térmicos se efectúan siguiendo un método fluxométrico, conforme a la ISO 8301¹⁷ para la conductividad y conforme a la ISO 8302 para la variación de la conductividad en función de la temperatura.

Este método permite determinar un coeficiente α que sirve para calcular la conductividad térmica a 10 °C que es la temperatura media a la que se encuentra el aislante en invierno

$$\lambda_{10} = \lambda_m + \alpha(10 - \theta_m)$$

λ_{10} conductividad calculada a 10°

λ_m conductividad medida a 20°

θ_m temperatura de medida

Las medidas de conductividad térmica se efectúan sobre muestras a las que se han quitado las caras justo antes de la medida y se ha lijado la superficie

- después de la estabilización: conductividad térmica inicial,
- después del acondicionamiento: conductividad térmica después del acondicionamiento.

Los ensayos se hacen a 20 °C y los resultados se convierten a 10 °C. También se puede medir directamente la conductividad a 10 °C; en este caso debe precisarse.

CAPÍTULO 4. CONTROL DE PRODUCCIÓN

El control de producción deberá ofrecer el mismo grado de confianza, en la constancia de calidad, que el dado por el control de producción siguiente:

4.1 Control interno

4.1.1 Espuma de poliuretano

- densidad: turno de fabricación
- control de la reactividad: turno de fabricación
- resistencia a la tracción perpendicular: turno de fabricación
- resistencia a la compresión: turno de fabricación
- ensayo de flexión en 4 puntos: semanal
- estabilidad dimensional: semanal
- conductividad térmica: (ocasional)

4.1.2 Chapas

- resistencia a la tracción: semanal, si no es certificado por sello de conformidad

4.1.3 Producto acabado

- espesor: turno de fabricación
- anchura: turno de fabricación
- escuadria de los cortes: turno de fabricación
- control de los bordes: turno de fabricación
- control de calidad de llenado de espuma por levantamiento de los bordes (presencia y tamaño de las burbujas): turno de fabricación

4.2 Supervisión del control interno por organismo externo

La supervisión del control interno por organismo externo consiste en verificar los resultados de control interno, los métodos empleados para su obtención y la forma de archivar los resultados.

Para ciertos aspectos, especialmente térmicos, esta supervisión puede acompañarse de ensayos de verificación por organismo externo sobre las características de los productos.

¹⁷ De forma provisional, hasta el establecimiento de las normas CEN correspondientes.

ANEXOS INFORMATIVOS

Anexo 1 - Cálculo del coeficiente de transmisión térmica medio

La resistencia térmica debe tener en cuenta la nervadura de los paneles y las uniones longitudinales. Esta consideración requiere medios de cálculo numérico; a falta de un método nacional establecido sobre el tema, se propone un método de recoger los resultados bajo forma de tablas de coeficientes. El valor de transmisión lineal de la unión longitudinal puede determinarse mediante el ensayo de la caja caliente o bien, por cálculo, con una tabla para los diferentes acabados.

La consideración de la nervadura puede efectuarse de la forma siguiente:

Desde el punto de vista térmico, se distinguen:

- 1) los paneles planos,
- 2) los paneles llamados "poco nervados", cuyas nervaduras tienen una altura máxima de 5 mm, pudiendo estar en una o las dos caras,
- 3) los paneles llamados "muy nervados", cuyas nervaduras principales, generalmente de forma trapezoidal, tienen una altura superior a los 5 mm; en general, en una sola cara y, entre ellas, nervaduras secundarias como se describen en 2.

Para esta tercera categoría, se dividirán los paneles en cinco clases, siguiendo la relación r^2 de superficie ocupada por las nervaduras principales sobre la superficie de los paneles, tal que:

- clase 1: $r < 25 \%$
- clase 2: $r < 50 \%$
- clase 3: $50 < r \leq 60 \%$
- clase 4: $60 < r \leq 70 \%$
- clase 5: $r > 70 \%$ (con un máximo del 85%)

a) paneles planos

El coeficiente K_e de la zona común se determina por

$$1/K_e = 1/h_i + 1/h_e + e_i/\lambda_i \quad (1)$$

con:

$1/h_i$ y $1/h_e$: resistencias térmicas superficiales en $m^2 \cdot K/W$

e_i : espesor de la espuma en m,

λ_i : conductividad térmica útil de la espuma en $W/m \cdot K$

b) paneles poco nervados

El coeficiente K_e medio de la zona común se determina por

$$1/K_e = 1/h_i + 1/h_e + R \quad (2)$$

con:

$1/h_i$ y $1/h_e$: resistencias térmicas superficiales en $m^2 \cdot K/W$ y R en $m^2 \cdot K/W$, tal que:

$$S/R = \sum s_i/R_i \quad (3)$$

en la cual:

S , es la superficie del panel

s_i , son las superficies de cada una de las partes de resistencia R_i , calculada en relación al espesor de la espuma considerada (e_i) a la conductividad térmica de la espuma (λ_i).

c) paneles muy nervados

El coeficiente K_c medio de la zona común, teniendo en cuenta las diferentes nervaduras se expresa por

$$1/K_c = 1/h_i + 1/h_e + R + \Delta e/\lambda_i \quad (4)$$

con:

$1/h_i$ y $1/h_e$: resistencias térmicas superficiales, en $m^2 \cdot K/W$

R : resistencia térmica en $m^2 \cdot K/W$, calculada según (3) y teniendo en cuenta las nervaduras secundarias posibles,

Δe : suplemento de espesor debido a las nervaduras principales, en m,

λ_i : conductividad térmica de la espuma de PU, en $W/m \cdot K$

En la tabla 4 se dan los valores Δe , en función de la proporción de nervaduras principales y su altura.

TABLA 4

Valores Δe , en mm, de los paneles muy nervados

Clase	Altura h de las nervaduras en mm			
	$10 \leq h < 25$	$25 \leq h < 50$	$50 \leq h < 70$	$h \geq 70$ (*)
1	1	2	2	2
2	3	5	6	7
3	5	9	12	14
4	7	12	16	19
5	8	16	20	24
(*) Sin exceder 120 mm. Por encima, se requiere un cálculo particular.

Fig. 11.- Definición de las superficies y dimensiones

Anexo 2 - Descripción de los ensayos que permiten medir las características mecánicas de la espuma

Fig. 12.- Resistencia a la tracción de la espuma.

Fig. 13.- Resistencia a la compresión de la espuma.

Fig. 14.- Resistencia y módulo de cizallamiento de la espuma (*).

$100 \leq B \leq 150$ mm
B = anchura de probeta.

(*) En caso necesario, pueden modificarse las dimensiones, de forma que la rotura se produzca por cizallamiento de la espuma.