

ANÁLISIS DE RIESGO-COSTES DE LAS OPCIONES EN
EL MERCADO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS
UTILIZANDO ESTOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

UNA APROXIMACIÓN A LOS PANELES SÁNDWICH

En este artículo se presenta una panorámica actualizada sobre los denominados paneles sándwich, solución constructiva prefabricada utilizada con profusión en la edificación y la industria. Partiendo de sus características y tipología, se describe cuál es su comportamiento ante un incendio como paso previo a la formulación de una metodología para la evaluación de riesgos de los paneles sándwich y a un análisis de riesgo-costes de las opciones en el mercado de soluciones constructivas utilizando este tipo de paneles.

Por **EMILIO LUENGO CUADRADO**. INGENIERO DE MONTES. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. TÉCNICO SUPERIOR EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

**QUÉ ES UN PANEL SÁNDWICH.
PROPIEDADES Y VENTAJAS**

Bajo la denominación «panel sándwich» podrían situarse numerosos elementos constructivos prefabricados, utilizados habitualmente en edificación e industria con dos diferentes usos principales:

- Cerramiento exterior en cubiertas y fachadas.
- Compartimentación de espacios interiores (cámaras, sectores, salas de procesado de alimentos, salas blancas, etc.).

De forma característica los paneles incluyen al menos las siguientes funciones: aislamiento térmico u acústico, y propiedades de cerramiento o compartimentación (impermeabilidad al aire o al agua, resistencia a cargas de viento, etc.).

Generalmente se trata de conjuntos formados por dos caras externas de pequeño grosor entre las que se encuentra adherida una capa de material aislante. El comportamiento y las prestaciones del panel variarán en gran medida en función de los materiales utilizados, sus espesores, rigidez y la coherencia alcanzada entre núcleo y caras.

Los paneles se fijan a la estructura mediante elementos mecánicos como tornillos, *clips*, pletinas, etc. Otra de las características específicas de estos sistemas constructivos es la existencia de juntas perimetrales que permiten a cada panel unirse con el resto de paneles vecinos,

La prefabricación del panel sándwich, su ligereza, rigidez y modularidad hacen que su instalación sea rápida y sencilla

manteniendo las propiedades del conjunto (aislamiento térmico, estanqueidad, etc.).

El diseño de las juntas es muy diverso según los diferentes fabricantes y usos para los que se va a destinar el panel. Así, por ejemplo, las juntas de cubierta intentan conseguir estanqueidad y protección, mientras que en las salas blancas además interesa la facilidad de limpieza e higiene.

Como características propias de los paneles sándwich se pueden citar las siguientes:

- Ligereza frente a otros sistemas.
- Modularidad.
- Instalación estandarizada.
- Prefabricación.
- Capacidad mecánica mejorada, principalmente rigidez.
- Incorporación en un único producto de productos con funciones diversas.

A estas propiedades habría que añadir, en su caso, las específicas derivadas de su constitución para fines concretos: propiedades frente al fuego, robo, etc.

Las ventajas de los sistemas de paneles sándwich debidas a sus características

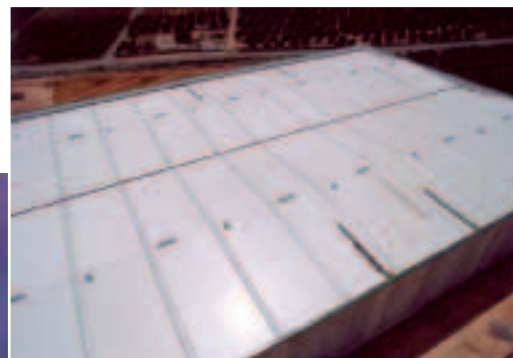
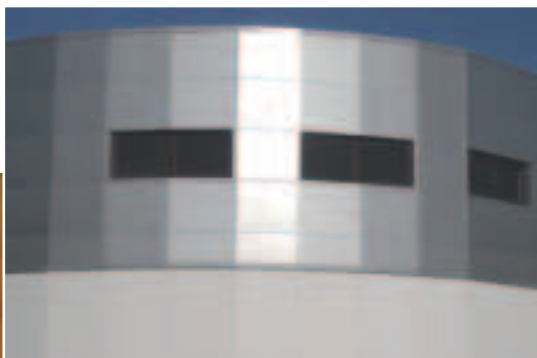
son múltiples y por este motivo son un material en franca expansión. En este sentido, la ligereza de muchos de estos sistemas incide directamente en dimensionados menores en la estructura que está destinada a soportar las superficies realizadas con este material.

Al mismo tiempo, la capacidad mecánica mejorada de los paneles, tanto en rigidez como en resistencia, permite un espaciado mayor entre las piezas de soporte, lo que se traduce en una menor cantidad de estructura y, consecuentemente, en unos menores costes de construcción.

La prefabricación del producto, la ligereza, su rigidez y su modularidad hacen que su instalación sea rápida y sencilla, acortando costes en mano de obra, que no requiere un nivel elevado de especialización, y disminuyendo tiempos de construcción. Por otro lado, la prefabricación también facilita el control de la calidad y la homogeneidad del producto.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y MATERIALES HABITUALES

La mayoría de los paneles sándwich utilizados en España son paneles de uso industrial realizados con caras de chapa metálica y un núcleo aislante, frecuentemente formado con espuma de poliuretano (PUR o PIR) o bien con espuma de poliestireno (EPS, XPS).



Fotos 1 y 2. Soluciones constructivas de cerramiento con paneles sándwich. Fuente: Metalpanel.

Además de estos dos grupos de materiales aislantes, se emplean con menor frecuencia lana de roca y más raramente espuma fenólica modificada (MPHEN) o vidrio celular (CG).

A los paneles metálicos les siguen a distancia los paneles con caras de madera o tableros derivados de la madera (entablados de madera maciza, tableros contrachapados, tableros de partículas, etc.).

Cabe también destacar el uso frecuente de placas de yeso laminado que se combinan bien como revestimiento o bien como parte de los propios paneles (caras interiores en ciertos paneles), debido a sus buenas propiedades de reacción al fuego.

PANELES DE CARAS METÁLICAS

Formados por caras exteriores de chapa metálica, son la opción de mayor importancia económica en nuestro país. Su uso está principalmente restringido a la industria, aunque cada vez se emplean más habitualmente en edificación.

Las chapas metálicas más comunes son las de acero galvanizado, aunque también se pueden encontrar de otros materiales como el acero inoxidable, el aluminio e incluso el cobre. Los espesores varían según el fabricante, siendo frecuente encontrar grosores de 0,5 y 0,6 mm, en chapas lisas, nervadas en mayor o menor medida o microperfiladas.

Los tratamientos protectores, además del habitual galvanizado, varían con el fabricante y modelo, siendo frecuente encontrar chapas prelacadas o con recubrimientos plásticos diversos (poliéster, PVDF, etc.).

Respecto a los aislantes, el más frecuentemente utilizado para cerramien-



Fotos 3 y 4. Soluciones con paneles sándwich para uso en refrigeración. Fuente: Aiconsa.

to exterior es la espuma rígida de poliuretano o su variante de poliisocianurato, y para divisiones interiores, principalmente en cámaras frigoríficas industriales, las espumas de poliestireno.

En menor medida se encuentran paneles con aislamiento de lana de roca, generalmente formando divisiones para sectorización en caso de incendio o bandas con reacción al fuego mejorada.

La unión del aislante a la chapa se realiza mediante adhesivos en el caso del poliuretano y la lana de roca, y por un fenómeno de autoadhesión en el caso del poliuretano.

Los espesores de los paneles dependen de cada fabricante, oscilando entre un mínimo de 30 mm. y un máximo de 200 mm. Son frecuentes espesores entre 35 y 80 mm para usos de cerramiento y mayores para paneles a instalar con distancias entre apoyos elevadas o con usos específicos (congeladores, barreras cortafuegos, etc.).

Las dimensiones de fabricación oscilan entre 900 y 1.200 mm. de ancho en longitudes que pueden llegar hasta los 18 metros, pero que normalmente se limitan por cuestiones de transporte a un máximo de 12 m. Las luces entre apoyos que suelen salvar varían entre 2 y 5 m. según las cargas y el tipo de perfil.

Los usos para los que suelen emplearse condicionan las características de diseño de los paneles y las juntas. Los más habituales son los siguientes: salas blancas, salas de proceso de alimentos, cámaras frigoríficas, cabinas de pintura, hornos, cerramientos de fachada y cerramientos de cubierta.

La instalación de estos productos es de tipo modular, empleándose maquinaria para la elevación de los mismos hasta la posición definitiva y realizando el anclaje a la estructura mediante tornillería adecuada según las indicaciones del fabricante. Finalmente se colocan en caso necesario los tapajuntas y otros complementos, no siendo necesario normalmente el uso de masillas de sellado por tener las juntas un diseño que procura esta propiedad.

PANELES DE MADERA O PRODUCTOS DE MADERA

Los paneles sándwich de madera y derivados de madera son un producto de uso creciente en España que está ampliamente arraigado en países en los que la construcción con madera presenta mayor importancia, como es el caso de Estados Unidos y Canadá, donde se utilizan tipologías aún poco frecuentes en nuestro país como son los SIPs (*Structural Insulated Panels*).

Estos sistemas están formados por un aislante intermedio adherido o encolado entre caras externas de madera u →

La mayoría de los paneles sándwich utilizados en España son para uso industrial y realizados con caras de chapa metálica y un núcleo aislante



Montaje de una instalación con paneles sándwich. Fuente: Aiconsas.

otros materiales derivados, como tableros de partículas, fibras, OSB, etc.

La tipología más habitual en España es de paneles de cerramiento de cubierta, que responden al siguiente estándar:

Paneles de 500 a 600 mm. de ancho y de 2.500 a 3.000 mm de largo, con núcleo aislante de poliestireno, cara interna de entablado de madera maciza y cara exterior de tablero de partículas resistente a la humedad.

Existe un variado catálogo de otras soluciones y materiales además del tipo mencionado, que incluyen el uso de diversos tipos de tableros o aislantes en la composición de los paneles, así como paneles que incorporan cambios interiores de madera.

La instalación de estos sistemas es rápida, siendo fácil la adaptación por corte en la propia obra. El sistema es especialmente adecuado si se combina con estructura de madera, sobre la que se puede realizar su atornillado sin mayores problemas. También se pueden instalar sobre estructura metálica con la tornillería adecuada, aunque esta solución es menos frecuente.

Los usos más típicos son cubiertas abuhardilladas en viviendas y cubiertas de grandes superficies comerciales o centros deportivos, en los que se busca, además de las propiedades aislantes, el as-

pecto estético de la madera vista.

Finalmente, cabe mencionar la existencia de los paneles estructurales de madera, que son aún poco utilizados en España pero frecuentes en países de nuestro entorno. En Estados Unidos se conoce a este tipo de paneles estructurales como SIP (*Structural Insulated Panels*), y forman una tipología constructiva con características y entidad propias.

Estos paneles se usan para formar muros de carga, forjados de piso, forjados de cubierta y otros elementos estructurales, reduciendo o eliminando la necesidad estructural que requerirían otros materiales de cerramiento como tableros o muros de entramado.

Lógicamente, las exigencias en cuanto a fabricación, durabilidad y comportamiento mecánico son mayores que en el caso de paneles de cerramiento.

LOS PANELES ANTE UN INCENDIO. ENFOQUE NORMATIVO

Las exigencias de reacción y resistencia al fuego impuestas por la normativa

actual para elementos constructivos afectan a los paneles sándwich con unos requisitos mínimos a cumplir. A los paneles de cerramiento o compartimentación interior (que no actúen como elementos sectorizadores de incendio) se les requiere, por ejemplo, en el DB SI el cumplimiento de clasificación mínima en reacción al fuego, que oscila entre clase C-s2, d0 para zonas ocupables, hasta clase B-s1, d0 en situaciones que requieren más protección, como recintos de riesgo especial o pasillos protegidos.

En algunos casos, como por ejemplo para cubiertas de vivienda, no sería necesario normativamente clasificar los paneles respecto a su reacción al fuego.

Por otro lado, las reglamentaciones industriales establecen en ocasiones niveles de exigencia menores que los utilizados en edificación.

En general, la mayoría de los sistemas sándwich metálicos no tienen grandes dificultades en superar las exigencias normativas mínimas en materia de reacción al fuego. El método de ensayo aplicable en este caso es el conocido como SBI (*Single Burning Item*) de la norma UNE EN 13.823:2002.

Además de los requisitos de reacción al fuego, los elementos constructivos con funciones estructurales o de sectorización para incendios tienen exigencias normativas en resistencia al fuego. Estas exigencias afectarían, por ejemplo, a los paneles estructurales de madera o a los paneles metálicos utilizados como barrera para evitar la propagación de incendios.

Para evaluar la resistencia al fuego es de aplicación un catálogo de normas europeas, mencionadas en la reglamentación vigente, que permiten el estudio de la resistencia del elemento en función →

Los paneles sándwich de madera y derivados de madera son un producto de uso creciente en España, con arraigo en países como Estados Unidos y Canadá

del uso y la posición que ocupe en el edificio (paredes, pilares, vigas, etc.).

Los paneles portantes de madera requieren protección mediante placas de yeso y sellados especiales para obtener valores de resistencia que sean aptos al menos para su uso en viviendas. Por otro lado, los paneles compartimentadores para fuego se realizan generalmente con núcleos incombustibles como los de lana de roca.

Las diferentes normativas, además de imponer unos requisitos de reacción y resistencia al fuego generales para los elementos constructivos, indican prescripciones exactas en relación con distancias a observar, y bandas o elementos específicos con materiales de reacción o resistencia mejorada respecto al conjunto general.

En este sentido, varias compañías fabricantes de paneles sándwich ofrecen catálogos completos de soluciones predefinidas que permitirían a sus clientes instalar este tipo de sistemas cumpliendo la normativa vigente, por ejemplo utilizando paneles de núcleo combustible en cerramientos y paneles de lana de roca en ciertas zonas o elementos compartimentadores.

LOS PANELES ANTE UN INCENDIO. ENFOQUE TÉCNICO

Siguiendo una orientación diferente de la expuesta anteriormente, han surgido

La mayoría de los sistemas sándwich metálicos no tienen grandes problemas para superar las exigencias sobre reacción al fuego

opiniones en ciertos organismos de ensayo e investigación, así como en compañías aseguradoras y bomberos, en favor de una experimentación diferente que incluya factores no contemplados en el marco de la reglamentación vigente.

La mayor parte de la experimentación realizada en el campo de la evaluación del comportamiento en incendio de los paneles ha sido en el estudio de la reacción al fuego, es decir, del comportamiento de los paneles en situaciones de incendio en fase de desarrollo.

Una de las cuestiones que se debate es si los sistemas de ensayo de pequeñas dimensiones (normativa anterior a las Euroclases) o medias dimensiones (ensayo SBI) evalúan realmente el comportamiento que los paneles sándwich tendrían en una situación de incendio real.

En este sentido, investigaciones de centros como el instituto sueco SP (P. Johansson, P. Van Hees; SP report 26:2000) indican que existen sistemas de ensayo que permiten un estudio más realista del comportamiento de reacción al fuego de

los paneles que el obtenido en el ensayo SBI, al no incorporar este último de una manera realista los detalles característicos de la instalación de los paneles en obra: fijaciones, juntas, anclajes, tapajuntas, estructura subyacente, etc.

En la misma línea, las compañías aseguradoras, con una evaluación de riesgos enfocada a evitar las pérdidas económicas derivadas de un posible siniestro, tienden a considerar que la protección normativa actual es insuficiente.

También existe una notable preocupación por el comportamiento de los paneles sándwich en situación de incendio por parte de los cuerpos profesionales de extinción de incendios en Inglaterra y otros países, en los que se han producido siniestros graves en algunos de los cuales han perdido la vida varios efectivos.

Este panorama ha favorecido la creación de programas de experimentación en diversas organizaciones técnicas promovidos por los agentes mencionados anteriormente.

METODOLOGÍAS DE ENSAYO ACTUALMENTE EN DISCUSIÓN

Entre los sistemas de ensayo basados en normativa nacional o internacional se encuentran los ensayos especificados por la reglamentación de seguridad en situación de incendio vigente, como el SBI →



Fotos 5 y 6. Detalle de juntas en paneles metálicos. Fuentes: Aiconsa y Metalpanel.

(UNE EN 13.823); por otro lado, aparecen otros propuestos por algunas entidades técnicas para la evaluación de paneles en montajes a escala realista: ISO 9705 (*Room/Corner Test*) e ISO/FDIS 13784 partes 1 y 2 (*Room Test*).

En una línea similar existen ensayos según procedimientos establecidos por organizaciones privadas de carácter técnico (normativa del LPCB, *Factory Mutual*, APSAD y otras).

Además de experiencias de ensayo normalizadas se han realizado experiencias interesantes con metodologías específicas con el fin de determinar el comportamiento de paneles en relación con problemas o fenómenos concretos.

En este campo son de destacar las interesantes investigaciones de la Building Research Association of New Zealand en relación con los paneles metálicos con núcleo de poliestireno. Esta organización ha realizado varios estudios en cuestiones como la facilidad de ignición a partir de perforaciones, el estudio de la posible propagación del fuego a través de juntas, la eficacia del diseño de juntas y la resistencia de sistemas de anclaje de falsos techos.

Se describen a continuación de forma breve los principales métodos de ensayo que están siendo utilizados en la actualidad:

El abanico de sistemas de ensayo para evaluar cómo reaccionan los paneles ante un incendio es cada vez más amplio

■ Ensayo SBI

El ensayo SBI es un ensayo de escala media en el que se tratan de reproducir las condiciones de inicio de un incendio en una esquina de dimensiones normalizadas formada por el producto y con un quemador de una potencia máxima de 30 kW. La duración del ensayo es de 20 minutos.

■ Ensayo *Room/Corner Test* descrito en la norma ISO 9705

Se trata de un ensayo de reacción al fuego a escala completa, publicado por ISO en 1993, y que se desarrolla en una habitación de tamaño normalizado para el estudio del comportamiento de revestimientos de paredes y muros.

El campo de aplicación son los productos de construcción que por alguna razón no pueden ser ensayados a pequeña escala, como por ejemplo sistemas que incluyen juntas, materiales termoplásticos, etc.

El ensayo se realiza en una habitación en la que se monta el sistema de paneles como revestimiento interior, tanto en el techo como en las paredes, dejando únicamente un hueco de puerta. Un quemador de propano se localiza en una de las esquinas con una potencia de 100 kW. durante 10 minutos y de 300 kW. durante los siguientes 10 minutos.

Este sistema, que ha sido uno de los primeros en ser utilizados para ensayos de paneles a escala real, ha sido modificado en varias ocasiones con el objeto de adaptarse mejor a la realidad de los sándwich. La primera modificación llevada a cabo por el instituto sueco SP consistió en utilizar los paneles no como revestimiento, sino para formar con ellos los muros y el techo de la habitación, lo que se acabó conociendo como modificación *free-standing* del ensayo. Posteriormente, esta modificación ha dado lugar a la metodología de ensayo ISO/FDIS 13784.

■ Metodología ISO/FDIS 13784 -1 y 2, *Room Test*

Este ensayo ha sido utilizado por entidades como el SP sueco y BRE en Reino Unido con diferentes adaptaciones propias.

El ensayo ISO/FDIS 13784 - 1 se realiza en una habitación de tamaño igual al propuesto en el *Room Corner Test* ISO 9705 y con fuente de calor y tiempos de aplicación análogos.

La cámara se forma con paneles instalados sobre una estructura que sigue las condiciones reales que se emplearían en el uso final a que van destinados (espaciado y tipo de estructura, tipo de fijaciones, etc.). Por ejemplo, si los paneles son de cerramiento se instalan con la estructura en el interior, y si están destinados a cámaras refrigeradoras se instalan generalmente con la estructura por la parte exterior.



Fotos 7 y 8. Instalación de panel sándwich de madera y aspecto desde el interior del edificio.

Fuente: Onduline.



Foto 9. Instalación de paneles estructurales de madera.

La disposición de ensayo de la parte 2 de esta norma, ISO/FDIS 13784-2, se realiza en una habitación mayor con una puerta-dintel.

Se expone el sistema al siguiente programa de calor a través de un quemador: 5 minutos a 100 kW., 5 minutos a 300 kW. y los siguientes 5 minutos sometido a 600 kW.; tras estos primeros 15 minutos de exposición viene un periodo de otros 15 de observación.

■ Metodología del LPCB

Se trata de una metodología de ensayo desarrollada por el esquema del *Loss Prevention Certification Board* británico. Básicamente es un esquema de ensayo de reacción al fuego a escala completa. Es una norma desarrollada, entre otras cuestiones, para el apoyo a las compañías aseguradoras británicas en la evaluación de riesgos.

Los procedimientos de ensayo de este sistema se recogen en los documentos LPS 1181-Part 1, «*Requirements and tests for built-up cladding and sandwich panels systems used as external envelop of buildings*» y LPS 1181-Part 2, «*Requirements and tests for wall and ceiling lining systems for use as internal construction y buildings*».

El ensayo del procedimiento LPS 1181 se realiza en una habitación de grandes dimensiones con las siguientes medidas: 10 metros de largo, 6 metros de ancho y 3,5 metros de alto, con una fuente de combustible de 34 kg de madera (1.000 kW de potencia).

■ Metodología de Factory Mutual

Uno de los sistemas de ensayo más habitual de *Factory Mutual* para la certificación de paneles sándwich se basa en el ensayo de la esquina de 25 pies, que consiste en ensayar una esquina de 8 metros de altura con dos paredes y un techo en la que se quema una pila de madera de 340 kg. con una potencia de 4.000 kW.

DISCUSIÓN DE ESTOS MÉTODOS DE ENSAYO

En varios estudios experimentales comparativos realizados por el instituto sueco SP se ha detectado que es difícil establecer correlaciones entre los resultados de SBI y el método *Room/Corner Test* (Axelsson y Van Hees, 2005). En estos estudios, el ensayo, según SBI, ofrece resultados menos severos para los paneles que las metodologías basadas en la ISO 9705.

Por otro lado, el ensayo ISO/FDIS 13784 es un sistema adecuado para la evaluación del comportamiento de paneles sándwich, como demuestra la experiencia acumulada en esta cuestión por entidades como BRE y SP. Ambas variaciones ISO/FDIS 13784-1 y -2 (habitación pequeña y habitación grande) permiten eva-

luar posibles fenómenos de *flashover* el comportamiento de los paneles en su uso final según las características a analizar.

Otras metodologías como LPCB y FMRC son también de gran utilidad y ampliamente usadas por las compañías aseguradoras en el proceso de decisión asociado a la evaluación de riesgos concretos relacionados con los diferentes sistemas sándwich (tipo, fabricante y modelo).

Tanto la metodología ISO/FDIS como los esquemas privados buscan la evaluación del sistema completo formado por el panel, su composición, sus juntas, fijaciones y estructura.

COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES SÁNDWICH ANTE UN INCENDIO

Se puede establecer una división clara de esta cuestión en dos apartados principales: comportamiento de los paneles en fase inicial de incendio y comportamiento en fase desarrollada del fuego.

■ Comportamiento en fases iniciales de incendio

Según un informe del *Fire Research and Development Group*, organismo del Gobierno británico, que incluye un estudio experimental y una encuesta realizada en numerosas dotaciones de bomberos del país, los paneles sándwich se consideran en general de difícil ignición, aunque una vez involucrados pueden dar lugar a un fuego más severo que otros sistemas constructivos tradicionales si la situación presenta ciertos parámetros desfavorables (FRDG-Morgan y Shipp, 1999).

Varias entidades próximas a la industria aseguradora, entre ellas la asocia- →

Estudios del instituto sueco SP ponen de manifiesto que es difícil establecer correlaciones entre los resultados del ensayo SBI y el método Room/Corner Test

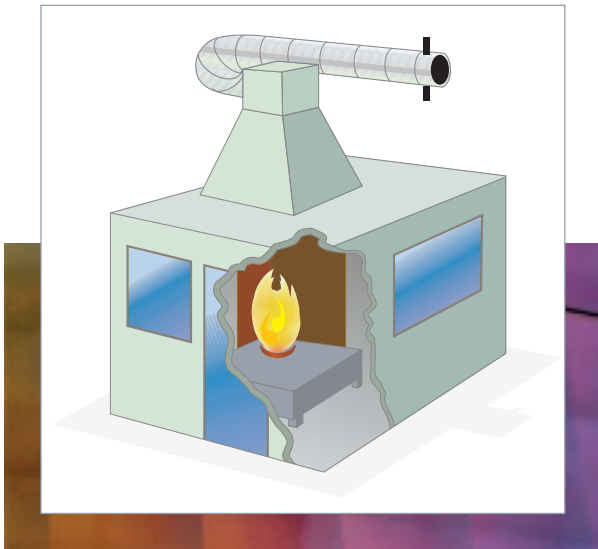


Figura 1. Esquema del ensayo *Small Burning Item* (SBI).
Fuente: SP–Swedish National Testing & Research Institute.

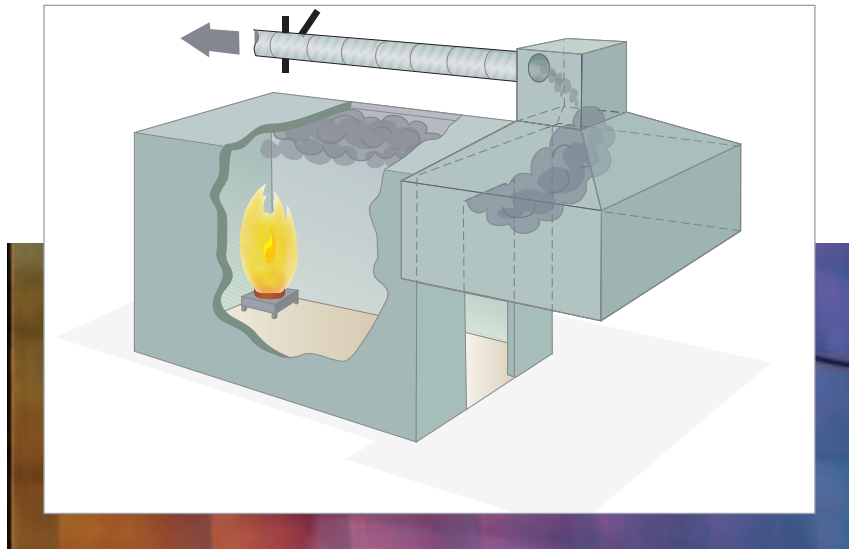


Figura 2. Esquema del ensayo *Room/Corner Test* (ISO 9705). Fuente: SP –Swedish National Testing & Research Institute.

ción ABI, se muestran de acuerdo respecto a la cuestión de la dificultad de ignición de los paneles (ABI 2003). En general, estas entidades indican que dada la gran variación posible en el comportamiento de los paneles en este aspecto, en función de sus características constructivas, de diseño y de composición, en situaciones donde el riesgo lo requiera, se considera una buena alternativa el uso de paneles ensayados con reacción al fuego certificada con esquemas como FMRC, LPC u otros.

Estas mismas fuentes indican que aunque es deseable evitar el uso de paneles de núcleo combustible, no todos los paneles de este tipo tienen un comportamiento deficiente en situación de incendio (ABI 2003).

■ Comportamiento en propagación y fase desarrollada del incendio

En general, cabe señalar que pese a la relativamente mayor o menor dificultad que según sus características tengan los paneles para verse involucrados en el incendio, si esto sucede se producen una serie de efectos específicos.

En este sentido, los miembros de los equipos de extinción británicos reconocen como factor característico de los in-

ciendios de paneles sándwich una elevada velocidad de propagación, mayor que en otros sistemas constructivos, y la idea de que la magnitud de las consecuencias del incendio supera lo esperable por la carga de fuego de las materias almacenadas (FRDG - Morgan y Shipp 1999).

En principio, si los paneles son el primer elemento incendiado se puede esperar un desarrollo inicial lento y contenido, que culmine en un fuego de características más peligrosas una vez alcance cierta dimensión (Harwood y Hume 1997, Morgan y Shipp 1999).

Existe consenso en las dotaciones de bomberos consultadas en que los paneles sándwich, una vez se ha alcanzado la situación de incendio de unas ciertas proporciones, contribuyen a la carga de fuego del incendio al involucrarse su alma combustible (Morgan y Shipp 1999). Por otro lado, es una cuestión compleja determinar en qué momento se produce el

Un informe de un organismo oficial británico destaca que los paneles sándwich son, en general, de difícil ignición

comienzo de este fenómeno, la velocidad con la que ocurre, el tipo y la cantidad de aislante que resultará finalmente involucrado según las características del incendio.

Los detalles de la participación del núcleo en el fuego dependerán de la magnitud del incendio, de la geometría del edificio, de la situación y uso de los paneles, de su composición (con especial importancia la de su núcleo), del diseño de los paneles (juntas, fijaciones, remachados, tapajuntas), de la forma de anclaje a la estructura y la tipología estructural utilizada, así como de la resistencia al fuego de la estructura de soporte.

Por otro lado, en los servicios de extinción británicos existe una opinión compartida respecto a que cuando el núcleo de los paneles sándwich se involucra de forma importante en el incendio, se producen grandes cantidades de humo denso que dificultan enormemente la extinción (Harwood y Hume 1997).

Dentro de la variabilidad mencionada en el comportamiento en situación de incendio de los diferentes tipos de aislantes, existe acuerdo general en la importancia que tiene el tipo de núcleo con el que se fabrican los paneles. Por orden de peor a mejor comportamiento espe-

Los bomberos británicos constatan cómo, una vez iniciado el fuego, los paneles sándwich pueden contribuir a su propagación si su núcleo es afectado

rado se encontrarían los núcleos de poliestireno (expandido o extruido), poliuretano PUR (con variabilidad según composición), poliuretano PIR (con variabilidad al igual que PUR), espuma fenólica y, finalmente, los de lana de roca y similares (ABI 2003; Morgan y Shipp, 1999).

Dentro de un mismo tipo de aislante, como por ejemplo el poliuretano, existen paneles con comportamientos muy diferentes debido a la composición concreta de la espuma. Por otro lado, como ya se ha mencionado, el acabado y diseño de juntas, tipo de fijaciones, etc. influye notablemente en el comportamiento de los diferentes sistemas (Collier y Baker 2004; Collier 2005; Johansson y Van Hees 2003).

Finalmente, como posibles fenómenos específicos que pueden producirse en un incendio plenamente desarrollado con paneles sándwich, se encuentran los siguientes:



Foto 10. Ensayo Room/Corner Test (ISO 9705) en su modificación free-standing. Fuente: SP-Swedish National Testing & Research Institute.

■ **Delaminación de las caras.** Se ha documentado como uno de los fenómenos más peligrosos. Se produce por fallo de la adhesión entre las caras y el núcleo (fallo del adhesivo, etc.), que provoca la caída de las caras metálicas de los paneles. Esta delaminación se puede producir en todo tipo de paneles, incluidos los de núcleo no combustible. La posible caída de las caras es un fenómeno que eleva significativamente el riesgo por suponer un problema de seguridad para los bomberos y, por otro lado, al implicar la posible exposición prematura del núcleo combustible a la acción del incendio. La exposición prematura o brusca del combustible puede suponer un incremento notable en la velocidad de propagación del incendio y en la potencia del mismo (Harwood y Hume 1997, Morgan y Shipp 1999; Cooke 2000).

■ **Inestabilidad de los paneles y fallo de fijaciones por acción del incendio.** Dado que una de las ventajas de estos sistemas prefabricados es la menor necesidad de estructura, y que en algunos casos, por razones de economía, se realizan instalaciones que incluyen pocas fijaciones y elementos de sostén, se pueden producir fenómenos de inestabilidad de los paneles en situaciones de temperatura elevada. Esto sucede al perder éstos su rigidez (Morgan y Shipp 1999). A este fenómeno se pueden sumar fallos en algunos sistemas de cuelgues de características inadecuadas, que pueden provocar la caída de partes completas, como falsos techos, etc.

■ **Deformación de los paneles y apertura de las juntas.** Ante la exposición de los paneles a las elevadas temperaturas del incendio se pueden producir, en función del diseño de los mismos,



Foto 11. Sistema de ensayo ISO/FDIS 13784-1. Fuente: SP-Swedish National Testing & Research Institute.

apertura de juntas y exposición del núcleo combustible al fuego (Collier 2005). Este fenómeno puede incrementar tanto la velocidad de propagación del incendio como la potencia calorífica disponible.

Los paneles de núcleo no combustible, como por ejemplo los de lana de roca, no suponen un añadido a la carga de fuego y presentan menores riesgos que los paneles de núcleo combustible, aunque, en función de su diseño, pueden no estar exentos de algunos problemas típicos de este sistema constructivo, como son la posibilidad de delaminación de las caras y cierta producción de humo al quemarse los adhesivos, así como falta de estabilidad y posibilidad de deformaciones cuando son expuestos a temperaturas elevadas.

CONSTRUCCIÓN CON PANELES SÁNDWICH Y FACTORES DE RIESGO

Algunas de las características desfavorables que contribuyen a la posible gravedad de un incendio de paneles no se deben sólo a la combustibilidad o al diseño de los propios paneles, sino a características típicas de los edificios que →

los incorporan y a la forma de instalación de estos sistemas prefabricados.

La actividad a la que se dedica el edificio influye significativamente en su diseño y en los sistemas constructivos que se utilizan.

Las principales características que pueden resultar en un incremento del riesgo en caso de incendio serían las siguientes:

Relativas a la distribución del edificio (Morgan y Shipp 1999; ABI 2003):

- Edificios de altura y volumen elevado en una única cavidad.
- Falta de compartimentación en sectores de incendio.
- Falta de aislamiento en operaciones de riesgo.
- Diseño en planta complejo o laberíntico.
- Panelados que cambian frecuentemente su disposición.
- Disposiciones poco seguras debido a la actividad, como cintas transportadoras que unen recintos con diferentes niveles de riesgo, zonas de paso sin compartimentación, etc.
- Existencia de falsos techos no compartimentados, zonas de difícil acceso, secciones ocultas, zonas de instalaciones inaccesibles, etc.

La exposición de los paneles sándwich en un incendio ya desarrollado puede producir tres fenómenos específicos

- Existencia de pocas aberturas de ventilación en la envolvente externa y sistemas con ventilación controlada (cámaras refrigeradoras, etc.) como indica la asociación IACSC.

Relativas a los sistemas constructivos y estructurales utilizados (Morgan y Shipp 1999):

- Paneles de grandes dimensiones.
- Bajo nivel de fijación a la estructura, pocas fijaciones y con elevada separación.
- Bajo nivel de seguridad para caso de incendio en la disposición, materiales, diseño de las fijaciones en paneles y cuelgues de falsos techos a la estructura.
- Menor presencia de estructura principal y ausencia de estructura secundaria en algunos casos.
- Bajo nivel de seguridad para caso de incendio en el diseño y características de la estructura.

En general, estos sistemas constructivos suelen implicar un compromiso entre el menor coste económico y la mayor eficacia para la industria en condiciones de trabajo normal. La búsqueda de soluciones económicas puede en algunos casos llevar a no tener en cuenta las consecuencias que un posible incendio podría ocasionar sobre una construcción con un bajo nivel de estructura y fijaciones.

Los cerramientos exteriores suelen ir fijados a la estructura principal del edificio, que debe resistir las cargas exteriores y el peso de los recubrimientos y materiales; por ello, en los paneles de cerramiento los riesgos asociados a una posible precariedad estructural son menores. Donde este problema se presenta más frecuentemente y con un riesgo mayor es en aquellas aplicaciones autoportantes de interior que dispongan de estructuras con un bajo nivel de seguridad.

CAUSAS DE RIESGO ASOCIADAS A LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Según indica el análisis de siniestros en el Reino Unido realizado por el FRDG (Harwood y Hume 1997), la mayor parte de los incendios ocurridos en las industrias que incluyen paneles sándwich se produjeron en factorías de procesado de alimentos con actividades de riesgo asociadas a esta industria, como cocinado, utilización de hornos, almacenaje de embalajes y plásticos, etc.

Otras actividades como el almacenaje refrigerado o el uso de paneles como cerramiento presentan una menor incidencia, tanto en frecuencia de siniestros como en pérdidas económicas (ABI 2003).

CAUSAS DE RIESGO POR BAJO NIVEL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO

Otras causas de incendio de importancia serían las asociadas a una falta de control y adecuación en operaciones o



Foto 12. Sistema de ensayo ISO/FDIS 13784- 2. Ensayo en estado inicial, el sistema presenta un sistema de puerta adintelada en el extremo opuesto al quemador. Fuente: SP –Swedish National Testing & Research Institute.



Foto 13. Interior con ensayo LPS 1181 en marcha. Fuente EPIC.

actividades (ABI 2003; SCOR 2003; Allianz Risk Consultants 2004), como:

- Falta de mantenimiento y control de equipos y máquinas eléctricas.
- Realización de actividades peligrosas de forma inadecuada y sin supervisión (soldadura, corte, trasvase de líquidos combustibles en zonas de riesgo, etc.). Falta de procedimientos de trabajo.
- Almacenaje de materiales fácilmente inflamables o de alto poder calorífico junto a paneles, etc.
- Disposiciones constructivas inadecuadas: falta de separación de aparatos eléctricos y luminarias respecto a los núcleos combustibles de los paneles; falta de adecuada protección del núcleo en penetraciones de cables e instalaciones; falta de protección de cables ante daños por las chapas de los paneles en las penetraciones, etc.
- Falta de aislamiento o compartimentación de actividades de riesgo respecto al resto del edificio.
- Falta de orden y control de operaciones en la instalación.
- Falta de seguridad frente a personal ajeno a las instalaciones.

CONCLUSIONES SOBRE LOS PANELES ANTE UN INCENDIO

A partir de las conclusiones extraídas en apartados anteriores se evidencia que las características diferenciales en el com-

portamiento en situación de incendio son una relativa dificultad de inicio del incendio debida a los propios paneles; no obstante, si la fuente de ignición es suficientemente potente y grande y afecta a los paneles durante el tiempo necesario, se puede producir la participación del núcleo combustible de estos sistemas constructivos.

Los incendios plenamente desarrollados en los que los paneles participan, en ciertas condiciones, pueden adquirir una serie de características desfavorables que, dependiendo del caso, pueden llevar a situaciones de pérdida total.

Entre las características de un fuego en el que se han involucrado paneles sándwich de núcleo combustible están un desarrollo relativamente lento inicial que posteriormente se podría caracterizar por una velocidad de propagación mayor que en otros sistemas tradicionales, con elevada producción de humo y, según el diseño de los paneles, las fijaciones y la estructura, con una mayor o menor problemática de inestabilidad estructural o delaminación de caras.

Las elevadas temperaturas podrían provocar la exposición del núcleo combustible que según la situación entraría a par-

ticipar en el incendio contribuyendo a la carga de fuego, aunque se trata de un fenómeno complejo en el que aún se está investigando en relación a parámetros como tiempo a partir del cual comienza el aislante a participar en el fuego, potencia calorífica, porcentaje de núcleo quemado, etc.

Las características de este tipo de fuegos pueden hacer difícil y arriesgada la actuación de los equipos de bomberos, por lo que la extinción puede ser compleja y en ocasiones ineficaz.

Las estadísticas muestran que la mayoría de los incendios se produjeron por el uso de paneles sándwich en combinación con actividades de riesgo, con una importante incidencia de mala gestión del riesgo de incendio y deficientes medidas de protección contra-incendios.

IDEAS CLAVE EN EL ENFOQUE DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

Las cuestiones anteriores inciden en las siguientes ideas clave de cara a la evaluación de riesgos:

El principal riesgo de un fuego en un edificio de paneles sándwich es que se desarrolle hasta alcanzar unas dimensiones en las que sea difícil su extinción. El riesgo alcanza más a la propiedad y a los bienes que a la seguridad de las personas, salvo bomberos, dada la evolución de este tipo de fuegos.

Importancia principal del riesgo de inicio de incendio debido a actividades y gestión del riesgo:

- El riesgo de iniciación de incendio debido a las actividades desempeñadas es fundamental en el riesgo final →

Las características de los edificios o la forma de instalar estos sistemas prefabricados pueden contribuir a agravar un incendio de paneles



Foto 14. Ensayo de esquina de *Factory Mutual*.

de incendio: hornos, zonas de cocinado, etc.

- El riesgo debido a mala gestión del riesgo de incendios, en lo referente a la iniciación del mismo, es fundamental en la evaluación del riesgo final (mal mantenimiento, operaciones de riesgo sin supervisión y protocolo, almacenajes inadecuados, falta de seguridad frente a intrusos, etc.).
- El riesgo de iniciación de incendio debido a un inadecuado diseño y disposición de elementos que sean fuente potencial de ignición es fundamental en el riesgo final: cuadros eléctricos, transformadores, maquinaria eléctrica, luminarias, etc.

Importancia principal del tiempo de extinción y las medidas de protección adoptadas:

- Dado el rápido desarrollo y las características desfavorables que puede tener un incendio plenamente establecido que involucre paneles sándwich, se considera prioritaria la extinción y contención temprana del fuego, mediante compartimentación, colocación de rociadores (si el nivel de riesgo lo exige), sistemas de detección automática, ventilación, formación del personal, etc.

Importancia del diseño, los materiales y las medidas de protección adecuadas en la severidad del incendio una vez desarrollado:

- Aunque con mucha variabilidad en función del sistema constructivo, las características del edificio (diseño en planta, altura, número de huecos, tipo de estructura, etc.), el diseño del panel y su composición, en general se producirá un incendio más severo, de desarrollo más rápido y extinción complicada, que puede llevar a pérdidas importantes e incluso totales.

De lo anterior se deduce la gran importancia que tiene hacer una adecuada evaluación del riesgo en lo concerniente a sus consecuencias, incluyendo los riesgos debidos a la carga de fuego presente y a las pérdidas esperables en caso de siniestro.

En general, el enfoque de muchas de las entidades de la industria asegurado en el tema del riesgo de incendio asociado a paneles sándwich es que se debe

realizar una evaluación detallada y concreta para cada caso. Esta evaluación incluye los factores de riesgo de la situación concreta, las medidas de protección adoptadas, el riesgo asociado a las posibles pérdidas y el comportamiento de los paneles en situación de incendio.

METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE PANELES SÁNDWICH

Se propone un modelo de evaluación múltiple con varios grados de actuación:

■ **Metodología cualitativa de evaluación de riesgos en fase inicial**

Sería recomendable la utilización inicial de una metodología cualitativa a través de listas de chequeo de puntos críticos especialmente diseñadas para paneles sándwich. Estas listas de evaluación podrían incluir muchas de las cuestiones consideradas de importancia en el riesgo de los paneles y descritas en apartados anteriores.

■ **Metodología de análisis de riesgo cuantitativa**

En la fase principal de la evaluación se recomienda utilizar métodos de evaluación de riesgos de utilidad contrastada con adaptación de los factores al caso concreto de los paneles sándwich. Concretamente, se considera como el método más adecuado el de Gretener, por disponer de una completa y detallada evaluación a través de tablas en relación con los factores de riesgo y las consecuencias esperables, especialmente en una evaluación enfocada a pérdidas económicas con un aspecto muy desarro-

Un fuego en paneles sándwich se caracteriza por un desarrollo inicial lento y una propagación posterior más veloz que en otros sistemas

llado en cuanto a las posibles consecuencias del incendio.

Sin embargo, el método de Gretener dispone de una evaluación del riesgo de activación que se considera poco desarrollada y que se podría complementar, dada la importancia crucial de esta cuestión, con métodos específicos, como ensayos (reacción al fuego con ensayos a escala real, por ejemplo con metodología ISO/FDIS 13784-1 y -2) y estudios estadísticos de riesgo de activación para diferentes actividades.

Complementariamente al método de Gretener podría ser interesante realizar una evaluación con el método del riesgo intrínseco que se desarrolla en el RSCIEI, para valorar más detalladamente la importancia del factor carga de fuego. Esta evaluación cuantitativa permitiría obtener un valor del riesgo asociado al caso en estudio, entendiendo por riesgo el resultado compuesto por la probabilidad de ocurrencia y la gravedad de las consecuencias de producirse el fenómeno. La aplicación de esta metodología permiti-

ría establecer comparaciones entre diferentes sistemas constructivos y evaluar las diferencias de riesgo que presentan.

Una posterior aproximación podría consistir en la elaboración de modelos más complejos que incluyan las variables termodinámicas y geométricas del problema para su integración mediante modelos informáticos específicos en la predicción del escenario de fuego esperable en función de la información de entrada.

EVALUACIÓN DE RIESGOS-COSTES PARA LA TOMA DE DECISIONES

Una vez establecido el nivel de riesgo asociado a la instalación en función de los diversos aspectos que la definen (tipo de actividad, tipo de edificio, carga de fuego, riesgo asociado a los paneles, compartimentación, etc.), el siguiente paso sería comparar el riesgo con el grado de exposición económica que pudiera ocasionar un incendio en el edificio. Para ello sería recomendable calcular el grado de exposición económica en función de los

costes que devendrían en una situación de incendio:

- Costes del edificio en caso de pérdida.
- Costes de la maquinaria en caso de pérdida.
- Costes de la materia prima disponible.
- Costes por la pérdida de actividad productiva.
- Costes asociados a la afección a otros establecimientos.
- Costes de limpieza y desescombro.
- Costes por indemnizaciones.
- Costes financieros.

La comparación del riesgo con la exposición económica será finalmente lo que lleve a la toma de decisiones sobre si el riesgo-coste es admisible, si se requieren medidas adicionales de protección que permitan reducir el riesgo a valores admisibles, o bien, si el riesgo se considera inadmisibles. La definición de los valores de riesgo que se consideran admisibles y de las medidas que se requieren varía en gran medida con la política y práctica habitual de la propiedad y de la empresa aseguradora implicada. ♦

PARA SABER MÁS

- [1] Improving the fire performance of polystyrene insulated panels in New Zealand. Autores: PCR Collier y GB Baker (2004).
- [2] Final report for sector group C – Sandwich panels; report on experimental programme and recommendations. Report number 210725; Octubre de 2003. Autor: BRE.
- [3] Development of a test procedure for sandwich panels using ISO 9705 philosophy. Nordtest Project 1432-99, 2000. SP report 2000:26. Autores: Patrik Johansson, Patrick Van Hees.
- [4] Performance of expanded polystyrene insulated panel exposed to radiant heat; Febrero de 2002. Autor: Gregory B. Baker.
- [5] «Fire tests with rate of heat release and smoke production of sandwich panels when tested according to ISO FDIS 13784 part 1, part 2 and modified ISO FDIS 13784 part 1»; 2002. Autores: Patrick Van Hees, Patrik Johansson.
- [6] «Flame barriers for foamed plastics»; 2005. Study Report No. 144 (2005). Autor: P.C.R. Collier.
- [7] «Summary report – Fire safety of sandwich panels. Research report number 76»; 1997. Autores: J. Harwood and B. Hume.
- [8] «Firefighting options for fires involving sandwich panels». FRDG Publication number 3/99. Autores: P. Morgan y M.P. Shipp.
- [9] «Technical briefing: Fire performance of sandwich panel systems»; Mayo de 2003. Autor: Association of British Insurers.
- [10] «Scor technical newsletter: Insulated sandwich panels and fire risk»; Abril de 2003. Autor: SCOR.
- [11] «Allianz risk consultants network guidelines: Sandwich panels – fire hazards and best practice»; Febrero de 2004. Autor: Allianz Risk Consultants.
- [12] «Risk assessment of timberframe multistorey apartment buildings»; 1998. Autores: S. Magnusson y T. Rantatalo.
- [13] EN 1991-1-2. Eurocode 1 – Actions on structures, Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire.
- [14] LPS 1181-1 Loss Prevention Standard – Requirements and tests for LCPB approval and listing of construction product systems. Part 1: Requirements and tests for built-up cladding and sandwich panels systems for use as the external envelope of buildings.
- [15] LPS 1181-2 Loss Prevention Standard – Requirements and tests for LCPB approval and listing of construction product systems. Part 1: Requirements and tests for panels and built-up systems for use as internal constructions in buildings.
- [16] LPS 1208 Loss Prevention Standard – LCPB Fire resistance requirements for elements of construction used to provide compartmentation.
- [17] NTP 599: Evaluación del riesgo de incendio: criterios. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [18] NTP 100: Evaluación del riesgo de incendio. Método de Gustav Purt. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [19] NTP 36 y 37: Riesgo intrínseco de incendio (I y II). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- [20] Evaluación del riesgo de incendio. Método Gretener. CEPREVEN, 1988.
- [21] Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2004.
- [22] Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio (DB SI). Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Vivienda, 2006.
- [23] Catálogos de diferentes fabricantes de paneles y aislantes.