

Comportamiento al fuego del Poliestireno Expandido **EPS**



AAPE
ASOCIACION ARGENTINA DEL
POLIESTIRENO EXPANDIDO



Comportamiento al fuego del Poliestireno Expandido EPS

INTRODUCCION

Algunas reflexiones sobre la seguridad contra Incendios en la Edificación

Basta tan sólo con dar una mirada a los objetos cotidianos que nos rodean para comprobar en que elevado porcentaje aquellas cosas que hacen confortable nuestra vida representan, en determinadas condiciones, algún tipo de riesgo.

No obstante, no podemos ni siquiera concebir un mundo sin artefactos eléctricos, porque una descarga de energía pudiera dañar seriamente a quien la recibiese. En su lugar, debemos actuar con la debida precaución, maximizando la seguridad de las instalaciones y respetando todas las condiciones de uso de los artefactos.

Siguiendo la misma línea de razonamiento, ¿resultaría sensato que para prevenir el **riesgo de incendio*** debiéramos acaso desprendernos de nuestros libros, muebles, cuadros, alfombras, cortinas y tapices e, incluso de nuestra vestimenta; prescindiendo también de tantos otros innumerables objetos conformados por madera, papel, fibras naturales o sintéticas y los diversos plásticos con que se realizan, desde una computadora hasta un cepillo de dientes, pasando por todos los electrodomésticos que pudiésemos imaginar; por el hecho de estar realizados con materiales **combustibles***?

La casi totalidad de los objetos familiares que conforman nuestro hábitat conllevan algún tipo de riesgo que debemos prevenir y controlar y el sólo reemplazo de alguno de ellos no garantiza por sí mismo el grado de seguridad necesario.

Si se analiza la seguridad contra **incendio*** de las construcciones, es importante examinar el comportamiento de los elementos constructivos completos vistos como conjuntos en su condición final de uso: su **resistencia al fuego***, y no sólo la **reacción al fuego*** de los materiales que los componen, considerados aisladamente.

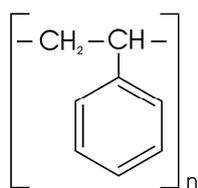
Objetivo de este documento

El propósito de este documento es establecer claramente el comportamiento al fuego del Poliestireno Expandido EPS cuando es utilizado como material en la construcción.

Se tendrán en cuenta todos los aspectos del comportamiento al fuego en términos de **liberación de calor***, **propagación de la llama***, producción y toxicidad de **humos*** y su contribución a la propagación del incendio. Se incluye información detallada sobre las características del Poliestireno Expandido EPS, como base para evaluar su comportamiento cuando está sometido a fuentes de **ignición***. También se evalúa el comportamiento de los aditivos retardantes de llama. Esta información puede utilizarse para la evaluación del riesgo teniendo en cuenta la complejidad de un incendio real y la dificultad de modelizar situaciones de fuego real a partir de ensayos a escala.

GENERALIDADES

El poliestireno expandible (*la materia prima del Poliestireno Expandido EPS*) es un polímero que contiene un agente expansivo.



poliestireno
expandible

Se obtiene mediante un procedimiento de polimerización del monómero de estireno [C_8H_8] con adición de pentano [C_5H_{12}]. (*Más adelante se analiza el comportamiento del pentano*).

Los plásticos celulares fabricados a base de este polímero poseen una estructura formada por millones de finas células cerradas, rellenas de aire y como puede verse en su molécula, se trata de un hidrocarburo puro, no posee otros elementos químicos que Carbono [C] e Hidrógeno [H] (*lo que será fundamental al analizar la toxicidad de los gases de combustión*).

Como fuera dicho, cuando lo que se considera es el comportamiento al fuego de algún material de construcción es importante hacer cualquier evaluación, en las condiciones finales de uso. Este comportamiento dependerá no sólo de la naturaleza química sino, en buena medida, del estado físico y de la localización del material.

De este modo, los factores importantes que deben ser considerados al determinar el potencial riesgo de incendio del **EPS** son:

- La densidad del material expandido y la forma del producto.
- Su vinculación a una fuente posible de ignición.
- Las condiciones de adhesión a un sustrato o revestimiento.
- La localización del producto (que influirá en el transporte del calor).
- La disponibilidad de oxígeno (ventilación).

ETAPAS DEL INCENDIO DE UN EDIFICIO

Los incendios de edificios comienzan típicamente con la **ignición***, por diferentes causas posibles, de algún material combustible que se halle en el lugar. A partir de ese momento se produce en general, un lento incremento de la temperatura en el local afectado, en la medida en que el incipiente incendio (en fase de crecimiento y propagación de las llamas), encuentre cantidades suficientes de materiales combustibles fácilmente inflamables. El paulatino incremento de la temperatura en el lugar facilita la ignición de cantidades cada vez mayores de materiales combustibles. Algunos de éstos despedirán gases inflamables, los cuales se quemarán debido tanto a la ignición original como espontáneamente por la elevada temperatura. En el caso de los gases, la combustión puede conducir directamente a la generación de llamas mientras que los materiales sólidos, como los muebles, han de convertirse, en primer lugar, en fuentes de ignición **incandescentes***.

En la primera etapa de un incendio, hay una acumulación gradual de energía calorífica en forma de gases combustibles. En este punto la temperatura es aún relativamente baja y el fuego aún está localizado. Con el aumento de la temperatura y el crecimiento y propagación de las llamas, se alcanza un punto donde se produce un desarrollo repentino, llamado **flash-over*** o “combustión brusca generalizada”, en el que la temperatura aumenta significativamente y el fuego se propaga repentinamente en todo el recinto. El **fuego*** se propaga entonces a través de todo el edificio y finalmente la energía producida por el incendio declinará hasta su total extinción, aún sin intervención humana, debido a la ausencia de materiales **inflamables***.

CARGA DE FUEGO

La duración y las características de los incendios reales dependen de muchos factores, de difícil evaluación, pero entre los más importantes se encuentran la **carga de fuego*** y el **grado de inflamabilidad*** de los materiales en el local.

En la Norma IRAM 3900-1/95 [1] se define la *carga de fuego* como la “*sumatoria de las energías caloríficas que pueden desarrollarse por la combustión completa de todos los materiales combustibles en un recinto, incluyendo: revestimiento de muros, pisos cielorrasos y tabiques*”.

Lo que se pretende demostrar en este punto es **la notablemente escasa contribución del EPS a la carga de fuego de un edificio.**

Comúnmente se expresa la carga de fuego en kg/m^2 de madera equivalente, adoptándose un valor de 4400 kcal/kg ⁽¹⁾.

Existe una clasificación usual de a los edificios según su carga de fuego, considerándose una escala según los siguientes valores, correspondiente en cada caso al valor calorífico máximo de los materiales combustibles depositados en su interior: ⁽²⁾

- **Carga de fuego baja:** 57 kg/m^2 (de madera equivalente)
- **Carga de fuego media:** 114 kg/m^2 (de madera equivalente)
- **Carga de fuego alta:** 227 kg/m^2 (de madera equivalente)

⁽¹⁾ El **poder calorífico real*** de la madera puede estimarse en $18,4 \text{ MJ/kg}$ [MJ: megajoule. $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ Joule}$].

⁽²⁾ Los valores máximos consignados pueden **duplicarse** bajo determinadas condiciones.

Estos datos, fueron extraídos de un trabajo realizado por Paul Ulrich Bittner, [2] quien, al referirse al presente tema concluye que “*Teniendo a la vista los valores de cargas de fuego precedentemente citados (de los que aquí sólo mencionamos el rango menor), impresiona la escasa contribución del poliestireno expandido EPS, cuya carga de fuego (en el caso de los cielorrasos con alma de EPS considerados en el informe citado), ¡es de 2850 kcal/m^2 o sea $0,65 \text{ kg/m}^2$!*”

LIBERACION DE CALOR

La tasa de liberación de calor ha sido considerada últimamente como un importante parámetro a la hora de evaluar el comportamiento al fuego de los materiales. *(Representa otra manera de expresar los mismos conceptos vertidos en el párrafo anterior).*

El método de ensayo desarrollado, ISO 5660, permite quemar probetas en un rango sorprendente de flujos de calor utilizando un cono calorimétrico.

Ensayos realizados en un laboratorio de la industria muestran que las planchas de EPS se encogen rápidamente retirándose de la fuente de calor, quedando una lámina de poliestireno fundido. No se observó ninguna generación de llama hasta superado un flujo de calor de 20 kW/m².

El **poder calorífico** de los materiales de Poliestireno Expandido (**40 MJ/kg**) es aproximadamente dos veces el de la madera (**18,4 MJ/kg**), pero teniendo en cuenta las densidades de ambos productos, el **volumen calorífico** para el EPS está entre **400 y 1200 MJ/m³** *(para sus habituales densidades de comercialización que varían entre 10 kg/m³ y 30 kg/m³);* y para el caso de productos procedentes de la celulosa, la fibra de madera o la madera está entre **7150 y 11040 MJ/m³** *(el valor más alto corresponde a una madera con un peso de 600 kg/m³).*

Dicho en otras palabras, el poliestireno expandido tiene solamente un **1,5 al 2,5 %** de su volumen, de materia eventualmente combustible, y su aporte a la carga de fuego en caso de incendio, es de 145 a 240 kcal/dm³, frente a los 2.400 kcal/dm³ que aportaría la madera (10 veces mayor). De ahí se desprende que el aporte energético a un incendio de las cantidades de Poliestireno Expandido EPS que usualmente se pueden emplear en el aislamiento térmico de una vivienda, está por debajo del que realizaría tan solo una pequeña parte del mobiliario.

El contenido global de calor de los materiales influye en la severidad del incendio en términos de aumento del fuego y la *tasa de liberación de calor* contenido es de la mayor importancia. Esto depende en gran medida de las condiciones de combustión. La liberación de calor por parte de los productos de EPS es aproximadamente tres veces más rápida que la de la madera blanda, pero es de mucha menor duración. [3], [4], [5]

El alcance y la tasa de liberación de calor están limitados fundamentalmente por la ventilación. Es importante señalar que el aire contenido en la estructura celular del poliestireno expandido no posee suficiente oxígeno para la combustión, siquiera incompleta del material, ya que para ello la necesidad de aire es 130 veces mayor, en volumen, que el que ocupa el material.

Ello significa que no puede haber combustión del material, cuando el mismo se halla protegido por una capa de revoque u otro elemento constructivo, que impida la llegada de oxígeno, aún cuando una llama externa (por ejemplo un cortocircuito) sea aplicada al mismo.

Por ejemplo, una espuma de densidad 15 kg/m³ requiere aproximadamente 150 veces su volumen en aire para completar su combustión. Además, es improbable que ocurra la completa combustión del Poliestireno Expandido EPS, por lo que difícilmente liberará su potencial de calor completamente.

Una capa de 200 mm de espesor de EPS con una densidad de 20 kg/m³ representa la misma cantidad de energía que una capa de 17 mm de espesor de madera de pino. ¿Pero quién pone en duda el uso de una capa de madera de pino de 17 mm de espesor como superficie desprotegida en un techo o una pared?

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES SEGUN SU REACCION AL FUEGO

Los materiales de construcción se clasifican en **incombustibles*** o **combustibles*** [6] [7]. Estos últimos se subclasifica, a su vez, según su grado de **inflamabilidad*** o de la **propagación superficial de llama*** según cual sea la norma empleada.

Así, las normas **DIN** [6] clasifican a los materiales de construcción en:

CLASE	DENOMINACION
A	Incombustible
A 1	
A 2	
B	Combustible
B 1	Difícilmente inflamable
B 2	Medianamente inflamable
B 3	Fácilmente inflamable

En cambio las normas **IRAM** [7] clasifican a los materiales de construcción en:

CLASE	DENOMINACION	INDICE DE PROPAGACION DE LLAMA	EQUIVALENCIAS CON NORMAS	
			ABNT ME- 24	UNE 23 - 727
RE 1	Incombustible	-----	-----	M 0*
RE 2	Muy baja propagación de llama	0 - 25	Clase A	M 1*
RE 3	Baja propagación de llama	26 - 75	Clase B	M 2*
RE 4	Mediana propagación de llama	76 - 150	Clase C	M 3*
RE 5	Elevada propagación de llama	151 - 400	Clase D	M 4*
RE 6	Muy elevada propagación de llama	> 400	Clase E	M 5*

* Los métodos de ensayo y de clasificación de las Normas UNE, para las clases M1 a M5 difieren de las adoptadas por IRAM y ABNT, las equivalencias con estas últimas es tan solo indicativo y pueden diferir notoriamente en algunos casos. Los ensayos se realizan según **IRAM 11918**: "Determinación de la inflamabilidad horizontal de los materiales poliméricos celulares."

Si bien en este punto no hemos abordado aún, los dos tipos de **EPS** que se fabrican en nuestro medio, podemos anticipar que no existe una correlación directa entre la clasificación de los materiales de construcción según las Normas DIN o IRAM, pero en el caso particular del tipo de Poliestireno Expandido **con retardante de llama***, corresponde la clasificación **B 1 "difícilmente inflamable"** [6] según la norma DIN 4102-1, que equivaldría verosímilmente a **RE 2 "de muy baja propagación de llama"** [7] según IRAM 11910-1 semejante a la "**Clase A**" de la norma brasileña ABNT ME-24; **R1** según ABNT MB 1562 y "**Retardante de llama**" según NBR 1194.8.

Contribución a la propagación del fuego. Normativas y disposiciones europeas

Las normativas que regulan la edificación en toda Europa estipulan requisitos respecto a una estructura completa y trabajan sobre la base de especificar la contribución a la propagación del fuego, a partir de la respuesta a la densidad de carga de fuego en la superficie de un elemento estructural. Esto es conocido como: *sistema de clasificación de "Reacción al Fuego"*.

Los sistemas de clasificación y los métodos de ensayos indicados son diferentes en toda Europa; no obstante, un sistema de clasificación en "Euroclases" (Norma EN 13163) y métodos de ensayos unificados se están desarrollando en la actualidad y adoptando paulatinamente.

EL COMPORTAMIENTO DEL EPS EN UN INCENDIO

Al igual que muchos otros materiales de construcción orgánicos, como diferentes tipos de plásticos, maderas, pinturas, etc., los plásticos celulares, como el Poliestireno Expandido EPS, son combustibles.

No obstante, en la valoración de su comportamiento al fuego debe observarse que éste depende no sólo de las cualidades específicas del propio material, sino también, y de forma esencial, de las condiciones de su aplicación. Es especialmente importante considerar su combinación con otros materiales constructivos y la disposición necesaria o deseada de capas de protección y recubrimiento.

Las propiedades inherentes al material difieren en función de que éste posea o no aditivos **retardantes de llama***. Como fuera dicho, la adhesión de otros materiales al EPS también afecta considerablemente a comportamiento al fuego. Por ejemplo, los productos con recubrimientos laminares mejoran su comportamiento respecto a la propagación superficial de llama, por tal motivo, **se recomienda firmemente que el Poliestireno Expandido siempre debiera estar protegido por un material de revestimiento o bien completamente encapsulado.**

Cuando se instalan correctamente, los productos de poliestireno expandido no presentan un riesgo particular de incendio.

Pero llegado el caso, al quemarse el poliestireno expandido se comporta de un modo similar al de otros hidrocarburos como la madera, el papel, etc. Los productos derivados de su combustión son básicamente monóxido de carbono y estireno, aún cuando durante un incendio, el estireno puede descomponerse aún más, despidiendo óxidos de carbono, agua y una cierta cantidad de hollín.

El EPS se fabrica en dos clases de calidad: tipo estándar, identificado con la letra “P” y aditivado con retardantes de llama, designado: tipo “F”. Este último es mucho más difícil de arder y con una tasa de propagación de llama considerablemente menor.

Cuando el EPS es calentado, se ablanda y se contrae progresivamente a partir de los **100 a 120 °C** (**110 a 120 °C** para el tipo “F”) y finalmente se funde. A temperaturas más altas, entre los **230 y los 260 °C**, según se trate del EPS tipo “P” o tipo “F”, se desprenden gases combustibles por descomposición de la masa fundida.

Estos gases no se inflaman hasta alcanzar, siempre con el aporte de calor externo, los **450 a 500 °C** (*temperaturas de **autoignición** del EPS fundido, tipos “P” y “F” respectivamente*). La posibilidad de que estos gases se quemen por acción de una llama o chispa depende enormemente de la temperatura, la duración de su exposición al calor y la cantidad de aire que fluya alrededor del material (la disponibilidad de oxígeno). [8]

El Poliestireno Expandido EPS estacionado **no puede ser inflamado por chispas o escorias candentes**, provenientes por ejemplo de soldaduras eléctricas o por colillas encendidas de cigarrillos. Ello es así por cuanto la energía aportada por estas materias candentes, es transformada en el calor latente necesario para la fusión del EPS cuando éste pasa a la fase líquida, la que es previa a toda posibilidad de inflamación. Solamente llamas ajenas al material en sí, y aplicadas sobre el mismo, pueden llegar a encenderlo.

De igual modo, tampoco el EPS **fundido** arderá normalmente debido a chispas de soldadura o cigarrillos encendidos, sin embargo, pequeñas llamas lo encenderán fácilmente, a no ser que contenga aditivos retardantes de llama.

La temperatura umbral de ignición del EPS estándar es **360 °C**, en el caso del EPS autoextinguible es **370 °C**. Estos valores indican que si el EPS fundido se desintegra, los gases combustibles se formarán únicamente alrededor de los **350 °C**. Después de la ignición del EPS de clase estándar, el fuego se propagará por la superficie expuesta y continuará hasta que se haya consumido todo el material.

Si bien la baja densidad de la espuma contribuye a facilitar la ignición debido a una mayor cantidad de aire (98%) frente a la cantidad de poliestireno (2%), **la masa del material presente es baja y por lo tanto la cantidad de calor desprendida es también menor**; por otra parte, resulta importante recordar lo dicho respecto a la cantidad de aire contenido en la estructura celular del poliestireno expandido y es que éste: no posee suficiente oxígeno para la combustión, siquiera incompleta del material, ya que para ello la necesidad de aire es 130 a 150 veces mayor, en volumen, que el que ocupa el material.

Ello significa que no puede haber combustión del material, cuando el mismo se halla protegido por una capa de revoque u otro elemento constructivo, que impida la llegada de oxígeno, aún cuando una llama externa (por ejemplo un cortocircuito) sea aplicada al mismo.

LA CONTRIBUCIÓN DEL PENTANO

El pentano se utiliza como agente expansor del poliestireno expandible en Poliestireno Expandido (EPS). Es un hidrocarburo puro que, aunque es inflamable, migra desde el producto final de EPS, en un corto periodo de tiempo después de su fabricación.

Además, el pentano es inestable y se descompone en la atmósfera en dióxido de carbono y agua en pocas horas. El pentano, por consiguiente, no juega un papel significativo en las propiedades del EPS en relación con el fuego, ni en la causa o desarrollo de un fuego en un edificio.

PROPAGACION DE LA LLAMA

La propagación de la llama es un proceso de ignición progresiva a lo largo de una superficie continua. El alcance y el grado de propagación de la llama dependen enormemente de la **inflamabilidad***, y grado de liberación de calor, de un material combustible. En paramentos donde el Poliestireno Expandido está unido a un sustrato rígido y está provisto de una capa de protección exterior, el riesgo de propagación de la llama está también afectado por las propiedades físico / térmicas de la superficie sobre la que el Poliestireno Expandido puede haberse fundido.

La proximidad del sustrato y el grado de integridad de la capa de protección (donde permanezca), además del diseño de fijaciones y juntas, gobiernan la distribución de cualquier poliestireno fundido y la entrada de aire y calor a la zona de combustión. Si se ha empleado el adhesivo para unir el Poliestireno Expandido en toda la superficie de la protección exterior, el material fundido permanecerá unido a dicha superficie, en casos donde se han instalado piezas de gran espesor, particularmente horizontales, el fallo de la superficie de protección puede ocasionar la formación y caída de gotas de material fundido, a menudo inflamadas.

Donde ha ocurrido el fallo localizado de la capa de protección, el aire suministrado, así como la orientación, a la superficie expuesta de Poliestireno Expandido son importantes para determinar el riesgo de propagación de la llama (por Ej. Una fachada de doble hoja con aislamiento intermedio con planchas de Poliestireno Expandido), es improbable que se produzca una fuerte propagación debido a la carencia de circulación del aire de combustión. [9], [10]

A partir de una investigación reciente es posible cuantificar la contribución realizada, por separado para el aislante, al crecimiento del incendio en recintos con libre ventilación, donde el Poliestireno Expandido se emplea en forma de planchas para paredes o techos. El alcance de la contribución del aislante, entre otros factores, depende del tipo de fallo de las superficies protectoras.

Con un buen diseño y una buena elección de las capas de protección, la tasa con la que el aislante contribuye posteriormente en calor, humo, etc. al desarrollo del incendio dentro de un recinto puede ser efectivamente reducida; el tiempo de contribución también puede ser substancialmente retrasado. [11], [12]

Un programa de investigación de experimentos a gran escala, dirigido por el "Building Research Establishment" (BRE) en el Reino Unido, simulando los efectos de un incendio completamente desarrollado en una habitación sobre una gran superficie aislada externamente, ha identificado las características de diseño que afectan a su comportamiento frente al fuego. [13] En caso de utilizarse placas de Poliestireno Expandido, mediante una cuidadosa selección de la capa de protección, con un adecuado diseño e instalación del soporte y una correcta instalación de los accesorios, junto con apropiadas barreras contra incendio, es posible reducir efectivamente la contribución hecha por el aislante a la propagación vertical del fuego sobre la capa final externa o a través del aislante o su cavidad; el alcance de los daños del incendio también puede ser limitado. El comportamiento frente al fuego de revoques aligerados homogéneos que contienen perlas de poliestireno expandido como agregados aplicados externamente a muros de albañilería sólida ha demostrado ser satisfactorio.

En resumen, cuando el poliestireno expandido se encuentra en el interior de las paredes, protegido por capas de revoque, o colocado entre losas de hormigón armado y contrapisos, valen las observaciones hechas sobre el progresivo ablandamiento y la pérdida de resistencia a la compresión, en la medida en que la temperatura se eleva por encima de las mencionadas, no produciéndose sin embargo, la inflamación y combustión del material por cuanto no hay aporte suficiente de oxígeno.

Un caso especial es el poliestireno expandido utilizado como agregado para hormigones aliviados de poliestireno expandido. Los elementos constructivos elaborados con este material muestran un excelente comportamiento en casos de incendio, siendo muy aptos, incluso para muros cortafuego. Ello se debe a que en el caso de un incendio prolongado en un lado del muro, con desarrollo de altas temperaturas, las perlitas de poliestireno preexpandidas incluidas en el hormigón, cercanas al paramento caliente, se resumen, tomando el hormigón las características de un hormigón alveolar, de muy buenas propiedades de aislamiento térmico a altas temperaturas. En las secciones más alejadas del lado caliente, donde las temperaturas no alcanzan para sinterizar o licuefacer el poliestireno expandido, éste mantiene sus propiedades aislantes, con lo que el hormigón de poliestireno expandido conserva sus valores de conductividad térmica aproximadamente originales.

Al analizar el comportamiento al fuego del poliestireno expandido, es importante considerar no solamente las condiciones en que puede o no producirse su combustión, sino también evaluar cuáles son los efectos de esta combustión, en caso de que se produzca.

RETARDANTES DE LLAMA

La presencia de aditivos retardantes de llama en los de tipo “F” genera mejoras significativas en el comportamiento frente al fuego del EPS. Mientras la complejidad de una situación de fuego real hace muy difícil predecir el comportamiento frente al fuego global a partir de un ensayo de laboratorio, *existen numerosos ensayos a pequeña escala que muestran claramente que es mucho más difícil quemar EPS fabricado con aditivos retardantes de llama que el fabricado con material estándar.*

En presencia de enormes fuentes de ignición o flujos significativos de calor, por ejemplo mayor de 50 kW/m², procedente de fuegos que envuelven otro material, el EPS del tipo “F” arderá eventualmente, reflejando la naturaleza orgánica del poliestireno.

El EPS de grado tipo “F” contiene una pequeña cantidad de agente retardante de fuego (**máximo 0,5 %**). Se trata de **hexabromociclododecano** (HBCD). Este tiene un efecto beneficioso cuando el EPS está expuesto a una fuente de fuego. La espuma se encoge rápidamente retirándose de la fuente de calor, de esta manera se reduce la probabilidad de ignición. Los productos de descomposición del aditivo causan el apagado de la llama, de este modo **cuando se retira la fuente de ignición, el EPS no continúa ardiendo.**

El HBCD también se llama compuesto organobromado ciclo-alifático y no es comparable con los retardantes de fuego aromáticos (PBBs y PBBOs), cuyo uso ha estado prohibido durante algún tiempo. Realmente, el HBCD no genera ninguna dioxina tóxica ni furanos durante la combustión. Esta fue la conclusión del Ministerio de Medio Ambiente alemán en 1990, para la combustión de poliestireno con un contenido en HBCD cinco veces superior al normal (3 % en peso).

Encontraron que el HBCD no es una fuente para la formación de polibromodibenzofuranos ni dioxinas en diferentes hornos de combustión en un rango de temperaturas de 400 °C a 800 °C. [14] El mismo resultado se había obtenido en el Ministerio del Medio Ambiente holandés [15] en 1989 por **pirólisis*** de poliestireno con un contenido en HBCD del 10% en peso, (recordemos que el EPS de clase autoextinguible sólo contiene un 0,5 % de HBCD).

Un estudio en 1992 realizado por el prestigioso Instituto Alemán Fresenius [16] mostraba que el mismo HBCD no contenía dioxinas bromadas ni furanos. Una reciente investigación en el ensayo del incinerador de Karlsruhe “Tamara” ha demostrado que la combustión de poliestirenos en un horno de combustión moderno es un método de reciclado medioambientalmente adecuado en lo que se refiere a emisiones.

Así mismo, como el HBCD es insoluble en agua, no existe riesgo debido a la migración al agua. [17]

Por último, conviene mencionar que en nuestro medio, el Poliestireno Expandido tipo “F”, con retardante de llama, viene reemplazando al tipo “P”, estándar, en la casi totalidad de las aplicaciones en la construcción. Adicionalmente y como veremos con mayor detalle más adelante, la toxicidad de los gases producidos en los períodos de combustión* y de carbonización* lenta es menor en el caso de plásticos celulares de EPS tipo “F”, que en volúmenes comparables de madera.

HUMO

El **humo*** es un factor importante en un incendio. Una alta densidad de humo dificultará la búsqueda de una salida de emergencia incrementando de ese modo el riesgo de los ocupantes. El humo puede ser tóxico o tener un bajo contenido en oxígeno, además las partículas de **hollín*** (calientes) pueden bloquear y afectar seriamente los órganos de respiración.

Cuando se evalúa la emisión potencial de humos de los productos de Poliestireno Expandido en un edificio bajo condiciones de incendio han de considerarse factores esenciales como el posible alcance de la propagación de la llama sobre cualquier superficie destinada a proteger los productos de Poliestireno Expandido, las condiciones de ventilación y el grado de descomposición del poliestireno. Una superficie de protección efectiva restringirá el alcance de las llamas a zonas donde haya fallado la protección o donde poliestireno fundido o productos gaseosos de descomposición hayan escapado a través de juntas y pequeñas fisuras.

La predicción con precisión de la producción potencial de humos por parte del EPS es difícil debido al amplio rango de condiciones de combustión que pueden darse en el mismo fuego. Las conclusiones generales extraídas de los ensayos a pequeña escala han quedado confirmadas en situaciones de incendio reales. En un incendio, los productos de EPS producen más humos por unidad de masa que la mayoría de materiales. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que **los productos de poliestireno expandido contienen sólo el 2% en volumen de materia sólida.**

En fuegos reales donde se produce mucho humo, frecuentemente se presupone que ha sido originado por el EPS utilizado en el aislamiento de la cubierta. En casos extremos esta presuposición se realiza en incendios de edificios que ni siquiera contienen EPS como aislante. En realidad, la mayoría del humo originado proviene de materiales como la madera, fieltros asfálticos y mobiliario, especialmente después de la primera fase corta del incendio.

Las partículas de humo producidas en un incendio con llamas son grandes, negras y de formas irregulares. La densidad del humo producido crece con el aumento de la temperatura y con la intensidad del flujo de calor sobre el material. En un incendio sin llamas, por ejemplo, cuando los productos de poliestireno expandido permanecen adecuadamente protegidos y la descomposición se produce en condiciones deficientes de oxígeno, predominan pequeñas partículas esféricas grises y los valores de densidad son inferiores que en condiciones con llama.

Cuando se quema EPS expuesto (sin revestimiento) se genera una considerable cantidad de humo pesado, denso y negro, el cual es proporcional a la masa consumida por el fuego. A veces se argumenta que la toxicidad de los humos está en proporción a su densidad, pero parece que este no es el caso.

Para aplicaciones donde se utiliza EPS sin revestimiento, la cantidad de humos está limitada por la favorable relación entre la masa y la superficie de un material de baja densidad. Aunque un producto de EPS de clase estándar sin revestimiento produce mucho humo, la cantidad total de humo es pequeña debida a la baja densidad del EPS. Dado que éste se utiliza con revestimiento prácticamente en todas las ocasiones, o bien en habitaciones sin riesgo de incendio o entre otros materiales a modo de sandwich, es más realista evaluar la producción de humo en estas situaciones prácticas.

Normalmente el EPS está protegido del fuego por materiales que lo rodean y sólo se verá afectado por el fuego cuando todo el edificio esté envuelto en llamas. En estos casos, el EPS se contraerá debido al calor, pero no arde y no contribuye a la propagación del fuego y la cantidad de humo será limitada. La producción de humo será consecuentemente pequeña.

Se puede concluir que el EPS, cuando se utiliza correctamente en las aplicaciones recomendadas, no supone un riesgo mayor en materia de densidad de humos.

TOXICIDAD

Como se expuso anteriormente es difícil predecir el comportamiento en incendios reales a partir de ensayos a pequeña escala. Las mismas consideraciones han de aplicarse a la hora de evaluar el riesgo de las emisiones gaseosas de materiales en combustión. En la práctica, se siguen dos enfoques; primeramente, la determinación de los productos de descomposición térmica y en segundo lugar, el estudio de sus efectos biológicos.

Es necesario combinar los dos enfoques para obtener una estimación global y realista de los riesgos.

Aunque la combustión del EPS produce humo negro, la toxicidad de los humos liberados es considerablemente menor que aquellos liberados por otros materiales de uso común. Ya se llegó a estas conclusiones en 1980 en el Centro de seguridad frente a incendios del TNO Delf, Centrum voor Brandveiligheid de Alemania, para las dos clases de EPS (estándar y tratado con ignifugantes). La toxicidad de los humos se midió para madera, lana, seda, algodón, algodón tratado con retardantes de llama, y dos tipos de EPS. En el caso del EPS, la toxicidad de humos fue considerablemente menor que en los otros materiales.

Una investigación más profunda de la toxicidad de humos de EPS también ha sido realizada de acuerdo con el método DIN 53436, un ensayo de toxicidad de combustión a pequeña escala, el cual aporta resultados relevantes para fuegos a escala real.

En estos ensayos las probetas se calientan a **300, 400, 500 y 600 °C**. Además de diversos tipos de EPS, productos naturales como la madera de pino, aglomerado, corcho expandido y 'triplex', caucho, fieltro y cuero también fueron estudiados. Los resultados se encuentran resumidos en la tabla siguiente.

TOXICIDAD DE HUMOS DEL EPS Y VARIOS MATERIALES "NATURALES"						
Tipo de Muestra		Composición del gas de combustión en ppm (partes por millón) a diferentes temperaturas de ensayo				
		Gases desprendidos	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
EPS tipo "F" (con retardante de llama)	Monóxido de carbono		10*	50*	500*	1000*
	Estireno monómero		50	100	500	50
	Otros componentes aromáticos		trazas	20	20	10
	Bromuro de hidrógeno		10	15	13	11
EPS tipo "P" (estándar)	Monóxido de carbono		50*	200*	400*	1000*
	Estireno monómero		200	300	500	50
	Otros componentes aromáticos		trazas	10	30	10
	Bromuro de hidrógeno		0	0	0	0
Madera de pino	Monóxido de carbono		400*	6000**	12000**	15000**
	Componentes aromáticos		no detectado	no detectado	no detectado	300
Placas de corcho expandido	Monóxido de carbono		1000*	3000**	15000**	29000**
	Componentes aromáticos		trazas	200	1000	1000
Madera aglomerada	Monóxido de carbono		14000**	24000**	59000**	69000**
	Componentes aromáticos		trazas	300	300	1000

*ardiendo sin llama

**ardiendo con llama

Nota: Condiciones de ensayo según DIN 53436

Índice de flujo de aire: 100 l/h. Probetas de: 300x15x20 mm comparadas en condiciones normales de uso final

Los humos del EPS presentaban, como mucho, un nivel de toxicidad equivalente o incluso inferior al de los humos procedentes de los productos naturales en todo el rango de temperaturas estudiado.

El resultado del EPS es muy bueno basado en el volumen de las probetas, debido a la extremada baja densidad y ligereza del EPS (98% de aire). Además, no se ha encontrado ningún efecto negativo en la presencia de retardantes de llama en el EPS ignifugado.

La tabla muestra que cantidades significativas de monóxido de carbono y estireno monómero se desprenden cuando se quema el EPS. Su toxicidad relativa puede ser estimada a partir de los niveles de su valor de toxicidad por inhalación aguda (L/C_{50} , período de inhalación de 30 minutos) siendo estos de 0,55 % v/v para el monóxido de carbono y del 1,0 v/v para el estireno.

Por lo tanto, la toxicidad por inhalación aguda del estireno es menor que la del monóxido de carbono y su concentración en la composición de los productos de EPS es también menor a las elevadas temperaturas que encontramos durante un incendio.

El monóxido de carbono puede ser fatal si se inhala entre 1 y 3 minutos a concentraciones de 10000 ppm a 15000 ppm. El estireno tiene un olor característico que puede ser detectado en concentraciones entre 25 ppm y 50 ppm y que llega a ser insoportable entre 200 ppm y 400 ppm. Esto nos previene en la necesidad de una evacuación inmediata de la zona. La irritación de los ojos y náuseas pueden ocurrir a 600 ppm y algunos daños neuronales pueden ocurrir a 800 ppm. En un incendio el estireno es probable que se descomponga para formar monóxido de carbono, dióxido de carbono y agua.

Para el tipo de EPS con retardantes, se detectaron trazas (10 – 15 ppm) de Bromuro de hidrógeno por el método DIN 53436. El valor LC_{50} de HBr es similar al de monóxido de carbono. Ya que la concentración es tan baja, en relación al monóxido de carbono, su presencia en los humos despididos durante la combustión del EPS con retardantes que se quema no aumenta significativamente el riesgo contra la salud. Debido a las pequeñas cantidades de HBr generadas, no se esperan efectos significativos de corrosión.

La combustión de EPS con retardantes bajo las condiciones prescritas en DIN 53436 no produce trazas de dibenzodioxinas bromadas, ni en la fase gaseosa ni en el residuo sólido, sólo proporciones despreciables de dibenzofuranos bromados, ninguno de los cuales son sustancias tóxicas.

La conclusión a partir de todos los estudios es clara y contundente: los gases y humos despididos durante la combustión del EPS (tanto estándar como tratado con retardantes) son menos tóxicos que los despididos en la combustión de materiales “naturales”, como la madera, lana y corcho, y que en la mayoría de los plásticos.

FUSION Y CAIDA DE GOTAS

Como se ha expuesto anteriormente, **el EPS sólo debería utilizarse protegido en una habitación con riesgo de incendio**. En este caso debería emplearse siempre EPS tratado con retardantes). Por esta razón, los principales fabricantes de EPS especifican condiciones de trabajo y puesta en obra de sus productos. Además un factor determinante para que ocurra un incendio es la posición de la maquinaria, que puede generar la chispa origen del incendio, siempre ha de mantenerse a una cierta distancia de seguridad (nunca ha de estar en contacto directo). Sólo así se alcanza la seguridad frente al fuego y se reduce considerablemente la posibilidad de caída de gotas fundidas de EPS.

RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

Como se expuso anteriormente, el EPS, como la mayoría de los plásticos, es inflamable. **Como regla general el EPS nunca se debería instalar desprotegido**, si la habitación tiene cualquier riesgo de incendio. Por lo tanto se recomienda que las planchas de poliestireno expandido siempre debieran estar cubiertas por una capa de protección, adecuadamente fijada para prevenir el derrumbamiento en caso de incendio. La protección de la superficie de Poliestireno Expandido con 9 mm de espesor de cartón yeso o 10 mm de espesor de yeso se ha mostrado adecuadamente resistente a la inflamabilidad, si la capa de protección está soportada mecánicamente. En caso de capas sin este tipo de soportes mecánicos, simplemente aplicadas directamente al EPS, con un adecuado aislamiento que mantenga la temperatura de interfase por debajo de los 100 °C durante un tiempo especificado, estas capas aportarán protección mientras se mantengan íntegras. Acabados finos, como una película de yeso, lámina de aluminio, pinturas tratadas con ignífugantes o capas intumescentes, aplicadas directamente sobre el EPS pueden retrasar la ignición hasta un cierto límite, pero una vez que el material se reblandece por efecto del calor puede producirse la penetración de la llama y el deterioro progresivo del revestimiento.

CONCLUSIONES

Muchos de los objetos cotidianos que nos rodean y hacen a nuestro diario confort, representan, en determinadas condiciones, algún tipo de riesgo. No obstante, no prescindimos de ellos sino, que al usarlos adoptamos las medidas de seguridad necesarias.

En la seguridad contra incendio en las construcciones debemos evaluar la “**resistencia al fuego**” de los elementos constructivos completos en su “**condición final de uso**” y no sólo la “**reacción al fuego**” de sus componentes tomados aisladamente.

Esta es la filosofía de seguridad frente al fuego de la Unión Europea, una de las más modernas, ya que han debido ser recientemente revisadas y compatibilizadas las normas de los distintos países; habiendo sido desarrollada con el propósito de evaluar y establecer requisitos de una estructura completa en “**condición final de uso**”, sobre la base de especificar la **contribución a la propagación del incendio**, a partir de la respuesta a la densidad de carga de fuego sobre la superficie de un componente estructural. Esto es conocido como: “Sistema de Clasificación de Reacción al Fuego” y ha dado lugar a las llamadas “**Euroclases**”.

Entre los principales factores de que dependen la duración e intensidad de los incendios, se encuentran: “**la carga de fuego**” y “**el grado de inflamabilidad de los materiales**”

El **EPS** aporta una reducidísima carga de fuego debido a su baja densidad aparente. Una unidad de volumen de EPS tiene de 1,5 a 2,5 % de material plástico y 98% de aire. A igualdad de volumen **el aporte de la madera a un eventual incendio, es 10 veces mayor al del EPS**, y eso si la combustión fuese completa, para lo cual un EPS de 15 kg/m³ requerirá **150 veces su volumen en aire**, con lo que difícilmente liberará su potencial de calor completamente.

El **EPS con retardante de llama** es clasificado por distintas normas, nacionales y extranjeras, como “**difícilmente inflamable**” o “**de muy baja propagación de llama**”.

Cuando el **EPS** se encuentra en el interior de las paredes, protegido por capas de revoque, o colocado entre losas de hormigón armado y contrapisos, no se produce la inflamación y combustión del material por cuanto no hay aporte suficiente de oxígeno. Los elementos constructivos elaborados con **hormigones alivianados** con EPS muestran un excelente comportamiento en casos de incendio, siendo muy aptos, incluso para **muros cortafuego**.

Se recomienda firmemente que el Poliestireno Expandido siempre debiera estar protegido por un material de recubrimiento, o totalmente encapsulado.

El **EPS no puede ser inflamado** por chispas, escorias candentes de soldaduras eléctricas, cortocircuitos o colillas encendidas de cigarrillos.

El **humo** es un factor importante en un incendio. Según las condiciones del mismo el **EPS** puede producir más humo por unidad de masa que otros materiales pero debe tenerse en cuenta que **los productos de EPS contienen sólo 2 % de materia sólida**.

En términos de toxicidad en caso de incendio, la conclusión a partir de todos los estudios es clara y contundente: los gases y humos despididos durante la combustión del **EPS** (tanto estándar como tratado con retardantes) **son menos tóxicos** que los despididos en la combustión de materiales “naturales”, como la madera, el lino, el yute, la lana, el corcho, y que en la mayoría de los plásticos.

Tomando estos factores en consideración se puede concluir que los productos de **Poliestireno Expandido EPS**, cuando se instalan correctamente en las aplicaciones recomendadas, no representan un particular riesgo de incendio, ni se destacan por un incremento significativo a la densidad de los humos, ni por la toxicidad de los mismos.

PRECAUCIONES GENERALES PARA EL ALMACENAJE DE EPS

Como se expuso anteriormente bajo ciertas circunstancias, los productos de poliestireno expandido pueden arder rápidamente si se exponen directamente a una llama. Se deben tomar precauciones para evitar este contacto con diferentes fuentes de ignición mientras se manipula o almacena este material antes y después de la instalación. El EPS con retardantes de llama se encuentra disponible cuando su uso lo requiere, particularmente cuando hay que tener en cuenta requisitos en materia de propagación de la llama.

Respecto a la generación de polvo durante la producción y proceso de transformación de EPS, por ejemplo por tratamiento mecánico de la espuma, se han de observar los mismos procedimientos de seguridad como se hace generalmente para el polvo de otros materiales orgánicos.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Norma IRAM 3900-1. FUEGO E INCENDIO. Definiciones fundamentales. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Junio 1995.
2. "La seguridad contra incendios: Cielorrasos Suspendidos con Alma de Poliestireno Expandido". Bittner Paul U. Ficha técnica para Horn y Cía S.R.L.. Santa Fe, Argentina (sin fecha determinada)
3. 'Heat release rates from samples of polymethylmethacrylate and polystyrene burning in normal air', Tewarson, A., *Fire and Mat.* 1976:90-96.
4. 'Flammability of Polymers and organic liquids, Part 1, Burning intensity' Tewarson, A., *Factory Mutual Research Corp.* February 1975. Serial No. 22429.
5. 'Stored Plastics test program', Dean, R.K., *Factory Mutual Research Corp.* June 1975. Serial No. 20269.
6. Norma DIN 4102-1: Materiales de Construcción; Definiciones, Requisitos y Ensayos. Editorial Beuth GMBH, Berlín, mayo 1981.
7. Norma IRAM 11910-1: Materiales de Construcción. Reacción al fuego. Clasificación de acuerdo a la Combustibilidad y con el Índice de Propagación Superficial de llama. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, mayo 1994.
8. 'Fire behaviour of expanded polystyrene (EPS) foam', 18.12.1992, APME Association of Plastics Manufacturers in Europe.
9. 'Fire tests on expanded polystyrene lined cavity walls for EPPMA.', Redland Research and Development Ltd., August 1974. Report No. 775-01.
10. 'Fire performance of combustible insulation in masonry cavity walls.' Rogowski, B. F. W., *Fire Safety Journal*, Vol 8, p. 119 – 134.
11. 'Investigating the contribution to fire growth of combustible materials used in building components', Rogowski, B. F. W., *New Technology to Reduce Fire Losses and Costs* (Grayson and Smith Ed). Elsevier Applied Science Publishers 1986.
12. 'Fire performance of building elements incorporating cellular polymers.' Rogowski, B. F. W., *Cellular Polymers* 4 (1985)325-338
13. Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings. Rogowski, B. W. F., Ramaprasad, R. and Southern J. R., *BRE Report* 1988.
14. 'Forschungsbericht nr. 104-03-362, Untersuchung der möglichen Freisetzung von polybromierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen beim Brand flammgeschützter Kunststoffe' april 1990, Umweltbundesamtes.
15. Hoechst, informatie aangaande HBCD, 19 mei 1992, met bijlage 'Sachstand polybromierte Dibenzodioxine (PBDD) polybromierte Dibenzofurane, februari 1989, Umweltbundesamt.
16. Eurobrom bv, informatie aangaande FR-1206 HBCD/milieuaspecten en bijlage Bromine Ltd. FR-1206, Hexabromocyclododecane HBCD, 4 juni 1992.
17. 'Lebenswegbilanz von EPS-Dämmstoff', 1 September 1993, Interdisziplinäre Forschungsgemeinschaft Info – Kunststoff e. V., Berlin.

Referencia general: "**Behaviour of EPS in case of fire**". European Manufacturers of EPS (EUMEPS). August, 2002. Versión original en PDF: <http://www.eumeeps.org/literat.htm>. Versión en español: "Comportamiento del EPS en caso de incendio". Versión en PDF en el sitio: www.aape.com.ar, en la página "Biblioteca".

GLOSARIO

*Fuente: Norma IRAM 3900-1. FUEGO E INCENDIO. Definiciones fundamentales. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, junio 1995.

calor de combustión (J / kg) (también: *poder calorífico*). Energía calorífica total por unidad de masa, que puede generarse por la combustión completa de un material.

carbonización. Formación de un residuo carbonoso durante la pirólisis o la combustión incompleta.

carga de fuego (J). Sumatoria de las energías caloríficas que pueden desarrollarse por la combustión completa de todos los materiales combustibles en un recinto, incluyendo: revestimiento de muros, pisos, cielo rasos y tabiques.

combustible. Material susceptible de entrar en combustión.

combustión brusca generalizada (“flash over”). Transición súbita al estado de combustión generalizada de toda la superficie del conjunto de los materiales combustibles incluidos dentro de un recinto.

combustión sin llama. La que se produce en forma lenta en un material sin emisión visible de luz y generalmente revelada por la elevación de temperatura o emisión de humo.

densidad de carga de fuego (J / M²). Carga de fuego por unidad de superficie.

encender. Iniciar una combustión.

fuego. Proceso de combustión caracterizado por la emisión de calor acompañado por humo, llama o ambos.

fuelle de ignición. Aquélla utilizada para encender materiales o productos combustibles.

frente de llama. Límite de la zona de combustión en fase gaseosa, en la superficie de un material.

hollín. Partículas fundamentalmente carbonosas, producidas o depositadas en el transcurso de la combustión incompleta de materiales orgánicos.

humo. Suspensión visible de partículas sólidas y o líquidas en gases, resultantes de una combustión o pirólisis.

ignición. Iniciación de la combustión.

ignición. (del b. lat. *ignire*, encender) f. Acción y efecto de estar un cuerpo encendido, si es combustible, o enrojecido por un fuerte calor, si es incombustible. // 2. Acción y efecto de iniciarse un combustión. (*Del diccionario de la lengua española de la Real Academia*).

incandescencia. Emisión de luz producida por un material cuando se lo calienta intensamente. Puede producirse con o sin combustión.

incendio. Combustión rápida que se desarrolla sin control en el tiempo y en el espacio.

incombustible. Material incapaz de mantener una combustión.

inflamabilidad. Aptitud de un material para arder con llama.

inflamable. Material capaz de arder con llama.

llama. Zona de combustión en fase gaseosa caracterizada por la emisión de luz.

no inflamable. Material no susceptible de quemarse con llama.

pirólisis. Descomposición química irreversible de un material debida a un aumento de la temperatura en ausencia de oxígeno.

poder calorífico inferior (PCI). Cantidad de calor generada por la combustión completa de la unidad de masa del material, debiendo quedar el agua producida en estado de vapor.

Nota: El poder calorífico inferior se determina por cálculo a partir de la medición del poder calorífico superior. Se lo puede utilizar más directamente en las condiciones normales de combustión, designándolo a menudo Calor de combustión. En el caso de que el producto de la combustión no contenga agua, el poder calorífico inferior coincide con el **valor** *.

poder calorífico superior (PCS). Utilizar valor calorífico real.

propagación de llama. La de un **frente de llama***. (Según IRAM 11910-3/94; en el punto 3 “Definiciones”):

índice de propagación de llama. Función del producto entre el *factor de evolución de calor* y el *factor de propagación de llama*.

factor de evolución de calor. Relación entre la variación de temperatura en el ensayo, debido a la combustión del material y la función del progreso del calor.

factor de propagación de llama. Velocidad con que la llama recorre la superficie del material en condiciones de ensayo.

quemar. Entrar en estado de combustión.

reacción al fuego. Comportamiento de un material frente al fuego al que está expuesto y al que contribuye mediante su propia descomposición.

resistencia al fuego (min). Aptitud de un elemento de construcción, componente o estructura, de conservar durante un tiempo determinado la carga portante requerida, la estanquidad y/o el aislamiento térmico, especificados en el ensayo respectivo de resistencia al fuego de la norma correspondiente (IRAM 11950).

retardo de llama. Propiedad inherente u obtenida de un material, por la adición de un producto o de un tratamiento aplicado que permite suprimir, reducir, retardar sensiblemente la propagación de llamas o aumentar la temperatura de ignición.

retardador de llama. (*retardante de llama*) Producto agregado o tratamiento aplicado a un material para suprimir, disminuir, retardar significativamente la propagación de llama o para aumentar la temperatura de ignición.

retardador de combustión. Producto agregado o tratamiento aplicado a un material para suprimir, disminuir, retardar significativamente o atrasar su combustión.

temperatura de ignición (°C). La mínima de un material a la cual se inicia una combustión sostenida por medio de una fuente auxiliar de ignición.

temperatura de ignición espontánea (°C). La mínima para la cual se obtiene la ignición por calentamiento, en ausencia de toda fuente auxiliar de ignición.

Nota: También denominada "*temperatura de autoignición*".

tiempo de propagación de llama (s). Aquel que insume la llama de un material en combustión, para propagarse sobre una distancia o una superficie establecidas.

tratamiento retardante de llama. Procedimiento que mejora el retardo de llama de un material.

valor calorífico real; liberación de calor (J/kg). Energía calorífica por unidad de masa que se desprende durante la combustión.

velocidad de propagación de llama (m/s). Distancia recorrida, por unidad de tiempo, por un frente de llama durante su propagación.

velocidad lineal de combustión (m/s). Longitud de material quemado por unidad de tiempo.

velocidad superficial de combustión (m²/s). Superficie de material quemado por unidad de tiempo.