

PINTURAS RETARDANTES DEL FUEGO

Carlos A. Giudice y Andrea M. Pereyra

INTRODUCCIÓN

El fuego es una manifestación energética que acompaña constantemente a la actividad humana, por lo que debe asumirse el riesgo emergente. Resulta conveniente establecer la distinción semántica entre fuego e incendio ya que frecuentemente se emplean como sinónimos: el incendio es el accidente (efecto no deseado) producido por el fuego.

El fuego desarrolla reacciones químicas fuertemente exotérmicas, iniciándose cuando comburente y combustible se encuentran en un estado energético suficiente (energía de activación).

El combustible incluye sustancias que no se encuentran en su estado máximo de oxidación; en general cualquier material que contiene carbono y / o hidrógeno puede oxidarse y por lo tanto resulta combustible.

El comburente más importante es el aire, el que está compuesto aproximadamente en su quinta parte por oxígeno; durante la combustión los restantes componentes permanecen inalterados (excepto a temperaturas muy elevadas) y acompañan a los productos de la combustión en los humos.

Parte de la energía desprendida en la reacción se disipa generando un incremento de la temperatura del medio y la restante se transfiere a los productos de la reacción aportando la energía de activación para que el proceso continúe; si ésta no es suficiente, la combustión se detiene.

El conocimiento de la teoría fisicoquímica de la combustión ha permitido el desarrollo de productos y medios de defensa contra incendios. Sin embargo, las pérdidas ocasionadas continúa siendo una de las mayores tragedias de la civilización moderna.

Teniendo en cuenta la tecnología actual, es importante mencionar el concepto genérico de "protección pasiva contra el fuego"; este método presenta una eficiencia independiente de la actividad humana.

Los estudios de investigación y desarrollo resultan así significativos con el objeto de disminuir la combustibilidad de los materiales y la velocidad de propagación del frente de llama como así también mantener durante la conflagración las propiedades mecánicas de las estructuras basadas en materiales no combustibles. El diseño de las construcciones y los materiales seleccionados desempeñan un rol también de elevada importancia.

La verdadera magnitud del problema del incendio resulta notable cuando se manejan cifras sobre las pérdidas humanas y materiales que se producen año tras año. Así, por ejemplo, el 25 % de las muertes provocadas por el fuego se debe a que las personas permanecen atrapadas en los edificios; la mayoría de las víctimas son menores de 10 o mayores de 70 años. Las muertes causadas por el fuego son solamente superadas por aquéllas producidas en accidentes automovilísticos.

En lo referente a las pérdidas económicas, en los países industrializados éstas alcanzan el 0,25 % del Producto Bruto Interno. No solamente en las construcciones civiles el fuego genera importantes problemas, ya que en barcos, estructuras costa afuera, plantas

industriales, etc. también alcanzan significación; el empleo de materiales no tratados y de pinturas convencionales contribuyen a la propagación del fuego.

A menudo se producen también importantes pérdidas indirectas de difícil evaluación tales como disminución de ingresos por la interrupción total o parcial de la actividad de una empresa, disminución de clientes, diferencias sustanciales en el costo de sustitución de instalaciones y equipos, etc. Se estima que de cada cinco empresas que han tenido un incendio importante, cuatro de ellas desaparecen dentro de los tres años siguientes de ocurrido el siniestro.

En lo referente al patrimonio cultural y a los edificios históricos en particular, las pérdidas materiales resultan notables y además, irremplazables. Así, por ejemplo, pueden mencionarse el Teatro Argentino de La Plata destruido totalmente por un incendio y el Teatro della Scala de Venecia seriamente afectado por otra conflagración, en las décadas del 70 y 90 del siglo anterior, respectivamente.

Los esfuerzos para disminuir la inflamabilidad de los materiales y de la madera en particular, se remontan a épocas muy antiguas. Sin embargo, el conocimiento de la fisicoquímica de la combustión ha permitido recién en las últimas décadas el desarrollo de productos y medios de defensa eficaces para evitar la no deseada evolución a la que espontáneamente tienden los materiales combustibles.

El citado incremento del nivel científico-tecnológico ha permitido, a mediados del siglo pasado, redactar por primera vez especificaciones y normas vinculadas al control de la inflamabilidad.

Además, y como consecuencia de los espectaculares incendios en edificios históricos y de concurrencia masiva, diversos países comenzaron a adoptar métodos de ensayo que soportan las regulaciones para el control de la inflamabilidad de los materiales que por su utilización pueden presentar el peligro de constituirse como focos iniciadores o propagadores de incendios.

Paralelamente, nuevos desarrollos tanto en el campo de los materiales intrínsecamente resistentes al fuego como de los tratamientos retardantes del mismo, han sido impulsados por las citadas regulaciones con el objeto de alcanzar determinados comportamientos.

Las consecuencias de ambos desarrollos son evidentes en el gran número de métodos de ensayo propuestos para evaluar la reacción al fuego de los materiales y en la puesta a punto de productos químicos ignífugos o materiales resistentes a la llama y al calor.

En resumen, los problemas originados por el fuego y la necesidad de prevenirlos mediante la utilización de los diversos métodos de protección existentes involucran prácticamente a todas las industrias y organizaciones productoras de bienes y servicios.

Reducir las pérdidas ocasionadas por el fuego es un objetivo de alto impacto en la economía de cualquier país; además, se debe incluir el aspecto social al disminuir los peligros de accidentes a nivel industrial y al mejorar las condiciones de seguridad en construcciones civiles y militares.

Es importante mencionar también que desde hace algunos años en los países desarrollados, las compañías de seguro han encontrado que el camino para hacer frente a esta situación es por medio de la prevención y el empleo de materiales ignífugos para ofrecer mejor resistencia frente a la acción del fuego.

Además, la concientización que la magnitud del problema presenta ha conducido a legislaciones severas en esta materia que a su vez han obligado y obligan permanentemente al desarrollo de nuevos productos.

ESTABILIDAD DE LOS MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN

La acción del fuego sobre los materiales de la construcción es significativa. Así por ejemplo, los **calcáreos** colapsan rápidamente por dilatación de los núcleos y por concentración durante la desecación mientras que los **cementíceos** exhiben satisfactoria respuesta a altas temperaturas si se encuentran perfectamente anclados.

Por su parte, el **hormigón armado** presenta adecuado comportamiento hasta los 300-330 °C si sus agregados áridos son de reducido tamaño; los hierros de la armadura comienzan a perder resistencia cuando se alcanza una temperatura crítica de 500-550 °C.

En lo referente al **yeso**, éste se deshidrata gradualmente por encima de los 120 °C y hasta los 180 °C, pulverizándose por pérdida de cohesión a los 700-800 °C.

Los **sistemas de hierro y acero portantes** realizados por forjado o laminado se deforman plásticamente por acción del calor fundamentalmente cuando la presión de las masas soportadas pierden su equilibrio estático; aproximadamente a 500 °C este material disminuye a la mitad su resistencia estructural.

La **madera y los productos derivados** fueron ampliamente usados en la construcción de edificios históricos; a pesar de comportarse como materiales combustibles y de resultar vulnerables en casos de incendio, presentan en general una considerable resistencia al fuego. El diseño y los detalles constructivos conforman un grupo de variables con significativa gravitación técnica y económica.

La citada resistencia al fuego de la madera se debe a la reducida penetración del mismo, la cual es atribuible a la baja conductividad técnica y a la formación de una capa carbonizada superficial que retarda la velocidad de propagación por su propiedad aislante.

La combustión de un material celulósico (la madera está compuesta por un 50 % de celulosa, 25 a 35 % de lignina y 15 a 25 % de hemicelulosa) se produce luego de cumplir diferentes estadios: procesos térmicos y químicos simultáneos, descomposición, ignición, combustión y propagación.

La madera sin tratar comienza a arder a los 300 °C pero la tratada con ignífugos adecuados no despiden tanto humo y los gases no son tóxicos ni combustibles.

Las pérdidas en casos de siniestros son siempre menores que en las construcciones con hierro y otros metales y, una vez que se ha eliminado el origen del incendio, la madera se caracteriza por presentar un comportamiento correspondiente a un material autoextinguible.

Todos los valores citados tienen singular significado, ya que las temperaturas medias en edificios incendiados oscilan entre los 700 y 800 °C.

Al incendiarse un edificio, en cuestión de minutos todos los materiales metálicos pierden su resistencia y se destruyen, mientras que en el mismo lapso las estructuras de madera mantienen una elevada resistencia estructural. Ésta aumenta su resistencia a medida que la temperatura se incrementa y llega a perderla en la etapa de carbonización.

PROPAGACIÓN DEL FUEGO

La velocidad de propagación de las llamas (masa de gas ardiente que se produce durante la combustión) tiene un papel preponderante en el avance del fuego; éste puede ocurrir a lo largo de una superficie combustible continua o bien a través de un lecho combustible continuo o discontinuo. La toxicidad de los humos y gases desprendidos es una variable significativa.

Los métodos empleados para determinar el comportamiento de los materiales frente al fuego son muy diversos; los resultados dependen del tipo y forma de la probeta, la intensidad y tiempo de acción de la fuente energética externa, etc.

- **Propagación dentro de una habitación:** En este caso es conveniente considerar la propagación del fuego teniendo en cuenta las tres formas de transferencia del calor a partir de una única fuente de combustión ubicada en el piso de una habitación.

Inicialmente la convección es la principal forma de transferencia de energía hacia las paredes adyacentes y el cielorraso. El calor se transporta rápidamente a otras partes del ambiente cerrado permitiendo de esta forma que otras áreas resulten calentadas.

La fuente original de fuego también produce transferencia de calor por radiación a los alrededores y ésta a su vez es complementada por la radiación generada por las superficies calentadas previamente por convección. En estas circunstancias, a medida que aumenta la temperatura de la habitación se incrementa la radiación siendo esta transferencia mayor que las aportadas por conducción o convección.

Debe destacarse nuevamente el papel importante que tienen las llamas que rebotan en el cielorraso en el calentamiento del ambiente y propagación de las llamas. Por otra parte la fuente original de fuego también transfiere calor a los pisos de la habitación por conducción.

- **Propagación en el interior de un edificio:** Aquí las consideraciones son la propagación de las llamas de una habitación a otra o de un edificio a otro. Se produce la propagación de las llamas por conducción cuando la aislación térmica entre habitaciones es reducida (conducción a través de una pared).

Cuando existen escaleras abiertas, éstas permiten la propagación de las llamas de un piso a otro, fundamentalmente por convección. Se produce la transferencia por radiación entre dos edificios adyacentes a través de las aberturas, puertas y ventanas que permiten poner en contacto un material en combustión con otras superficies combustibles próximas.

CARGA TÉRMICA TOTAL Y CARGA DE FUEGO

El riesgo total de combustión de un edificio se calcula considerando el contenido calórico del inmueble (carga de fuego que incluye el edificio propiamente dicho) y el nivel entálpico del contenido (carga de fuego que involucra vidas humanas y bienes).

El valor de carga de fuego es de singular importancia; la Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo actualmente vigente contempla este concepto. El método de Pourt fue desarrollado a partir del valor de carga de fuego y está ampliamente difundido para proceder a determinar el riesgo total de edificios; la densidad de carga de fuego, calculada dividiendo la carga de fuego por la superficie del edificio, es también una variable ampliamente considerada.

CRITERIOS Y PRINCIPIOS PARA LA PREVENCIÓN DEL FUEGO

- Requerimientos

Se debe contribuir con la elección adecuada de medidas de prevención y protección con el fin de lograr una seguridad razonable en las construcciones civiles y en las plantas industriales que implique proteger la vida de los ocupantes, evitar el colapso de la estructura y disminuir el deterioro de la misma.

Generalmente las medidas de prevención y de protección involucran el control de las potenciales fuentes de ignición y de la velocidad de propagación del frente de fuego, la inclusión en el diseño de medidas activas (sistemas de detección y alarma, elementos para combatir el fuego, dispositivos de seguridad personal, etc.) y pasivas de protección (diseño arquitectónico y estructural, empleo de pinturas ignífugas, etc.).

En lo referente a la protección pasiva, resulta oportuno comentar que entre otras variables, los materiales destinados para terminaciones interiores deben ser previamente ignífugados; que la protección de los elementos estructurales debe implicar el empleo de revestimientos retardantes del fuego eficientes; que la selección de puertas cortafuego y muros de baja conductividad térmica debe ser adecuadamente contemplada para controlar la propagación de la conflagración hacia ambientes contiguos y además para asegurar la estanqueidad de los humos y llamas y finalmente que el mantenimiento a lo largo del tiempo debe contemplar el empleo de sistemas de pinturas compatibles con los existentes y de probada eficiencia en ensayos previos.

- Variables a considerar para disminuir la posibilidad de una conflagración

Las medidas usualmente especificadas para evitar la inflamación o ignición de los materiales incluyen el control de la transferencia del calor por radiación, convección y conducción, la eliminación de superficies calientes, la supresión de la posible emisión de chispas, etc.

Lo anterior resulta posible implementarse empleando preferentemente materiales no inflamables o autoextinguibles, adoptando medidas activas y pasivas de protección, reduciendo la carga potencial de fuego y realizando un control periódico y adecuado mantenimiento de las instalaciones.

Resulta significativo determinar el grado de riesgo y las medidas de seguridad adecuadas, particularmente para construcciones civiles destinadas a albergar en forma permanente o transitoria a un elevado número de personas (escuelas, bibliotecas, hospitales, hoteles, restaurantes, auditorios, teatros, cines, comercios, etc.) e industriales construidas para almacenar y / o fabricar productos, equipos y aparatos diversos (petroquímicas, terminales automotrices, laboratorios medicinales, aserraderos, etc.).

Cabe mencionar que en los edificios en construcción, ampliación o demolición generalmente la probabilidad de incendio es elevada particularmente durante los procesos de calentamiento, soldadura y corte, transporte de líquidos y materiales inflamables, empleo de equipos eléctricos con instalaciones precarias, etc.

COMPORTAMIENTO DE LOS REVESTIMIENTOS FRENTE AL FUEGO

Los revestimientos en particular y los sistemas de pinturas en general desempeñan acciones bien marcadas frente a la acción del fuego:

- **Favorecer la propagación.** En general las revestimientos comerciales de tipo convencional presentan un bajo punto de ignición, es decir que por acción térmica se calientan y liberan gases combustibles que son los que se inflaman liberando energía calórica, la que se convierte a su vez en la energía de activación favorecedora de la propagación del frente de la conflagración.
- **Presentar inercia.** Algunos productos comerciales de características ignífugas de reducida eficiencia pueden no alterar el comportamiento frente al fuego evidenciado por el sustrato desnudo o bien sólo alcanzar una acción retardante limitada.
- **Retardar la evolución o bien extinguir el fuego.** El efecto ignífero engloba la interrupción del proceso de combustión en uno o más estadios, por lo que el proceso finaliza en un período de tiempo aceptable, preferentemente antes que la ignición tenga lugar.

EXIGENCIAS DE COMPORTAMIENTO FRENTE A LA ACCIÓN DEL FUEGO

Generalmente se precisan separadamente para materiales y para los elementos constructivos:

- **Materiales:** Se clasifican a su vez para la construcción (cerámicos, metales, vidrios, hormigones, yesos, maderas, etc.), para revestimientos o de acabado superficial (pinturas, barnices, papeles, placas de madera y derivados, paneles para aislamiento térmico y acústico, etc.) y para interiores (cortinas, alfombras, mobiliario, tapizados, etc.).
- **Elementos constructivos:** Se dividen en divisorios (paredes, muros, elementos vidriados, puertas, etc.) y en estructurales (pilares, vigas, etc.).

Los **materiales** se clasifican, según la **Reacción al fuego** por su grado de inflamabilidad y velocidad de propagación de las llamas, en:

- No combustibles o ignífugos.
- Combustibles / no inflamables.
- Moderadamente inflamables.
- Fácilmente inflamables.

Para los materiales divisorios de los **elementos constructivos** se determina la **Resistencia al fuego**. Se evalúa el tiempo transcurrido hasta que el elemento deje de satisfacer una de las siguientes condiciones: La estabilidad mecánica hasta llegar a la temperatura crítica (generalmente se consideran 500° C) o la flecha de deformación admisible, la estanqueidad a las llamas y a los gases y finalmente el aislamiento térmico entre compartimentos adyacentes.

Tiempos crecientes favorecen que las personas puedan abandonar el edificio antes que se genere una situación irreversiblemente crítica. El ensayo de Resistencia es puntual, es decir sólo válido para el elemento ensayado.

Para las estructuras de los **elementos constructivos** se evalúa la **Estabilidad al fuego**; dado que no son elementos divisorios sólo se determina la estabilidad mecánica de la Resistencia al fuego, es decir que la Estabilidad es un caso particular de esta última.

El ensayo de Estabilidad incluye el estudio de un conjunto de variables que involucran el elemento estudiado (forma, tamaño, etc.) y los espesores de los revestimientos protectores; resulta así posible seleccionar el sistema que satisface el tiempo especificado para alcanzar una adecuada estabilidad mecánica hasta llegar a la temperatura crítica.

CLASIFICACIÓN Y MÉTODOS DE ENSAYO

El análisis de la normativa vigente en el mundo indica la existencia de una gran cantidad de ensayos de diferentes características para determinar la reacción, la resistencia y la estabilidad al fuego de los elementos constructivos.

Las variables consideradas incluyen el tamaño y posición de la probeta, el tipo de fuente iniciadora, la duración del ensayo y los índices valorados; el comportamiento frente al fuego puede variar según el método aplicado.

En muchas oportunidades este aspecto resulta una barrera tecnológica para la exportación / importación de productos ignífugos. Se debe tomar una decisión política que imponga métodos de ensayo comunes al menos a nivel regional o continental, que resulten de adecuada reproducibilidad es decir que en el caso de operadores que trabajen en laboratorios distintos o en el mismo laboratorio en momentos diferentes alcancen resultados individuales comparables (baja dispersión de la media) utilizando el mismo método sobre un material idéntico .

Una primera clasificación hace posible establecer diferencias entre los métodos de ensayo: aquéllos que evalúan una o más características de la reacción al fuego del material en estudio y otros que intentan valorar el comportamiento de un sistema completo. Se pueden agrupar según determine:

- La propiedad fundamental de un material: química o física trascendente en el proceso de evolución y propagación del fuego.
- La forma de la combustión del sustrato: aspectos cualitativos (facilidad de ignición y de propagación, fusión, contracción, goteo, etc.) y cuantitativos (tiempo de duración de la llama luego de la remoción de la fuente térmica, tiempo máximo de incandescencia, longitud o área carbonizada, pérdida de masa, etc.).
- El comportamiento frente al fuego de elementos y sistemas: calentamiento múltiple que simula uno o varios aspectos de un incendio.
- La respuesta de un prototipo en tamaño real: condiciones de fuego bien definidas con una fase de evolución normal o acelerada.

En lo referente a las propiedades a valorar en la reacción frente al fuego, resulta posible mencionar, entre las más frecuentes, las siguientes:

- Facilidad de inflamación.
- Tiempo y / o extensión de las llamas luego de removida la fuente térmica.
- Duración de la incandescencia.
- Generación de humos.
- Toxicidad de los gases emitidos.

- Calor de combustión (variación entálpica a presión constante y a una temperatura determinada).
- Pérdida de masa.
- Disminución de propiedades mecánicas.

Una gran variedad de procedimientos para valorar similares características se encuentran normalizados; éstos proporcionan una indicación comparativa y pueden ser variables según el ensayo a que se somete el elemento o sistema en estudio (tamaño y posición de la probeta, tipo de fuente iniciadora, cantidad y tiempo de incidencia de la energía aplicada, etc.).

TIPOS DE PINTURAS RETARDANTES

Se debe controlar la calidad de productos comerciales y la eficiencia de los mismos sobre sustratos diversos en ensayos normalizados de laboratorio. Igualmente se debe supervisar la aplicación de los sistemas protectores en obra con la redacción previa de especificaciones.

Los tratamientos superficiales con películas orgánicas pueden desempeñar, como ya se mencionara, una acción importante durante un incendio: favorecer la propagación del fuego, presentar inercia o sólo ligeras características ignífugas, retardar la evolución de la conflagración o bien extinguir el fuego.

Las pinturas ignífugas se pueden clasificar, según su mecanismo de acción, en pinturas intumescentes y pinturas retardantes de llama.

- **Pinturas intumescentes.** Las películas secas de estas pinturas, sometidas a la acción del calor, primeramente se ablandan y luego se hinchan debido a un desprendimiento interno de gases incombustibles que permanecen en parte retenidos, llegando a alcanzar un espesor de más de 100 veces superior al original, Figura 1.

La capa intumescente solidifica en forma de masa esponjosa incombustible que protege el material pintado, dificultando el aumento de la temperatura e impide el acceso de aire.

Estos productos se aplican sobre sustratos diversos tales como papel, cartón, madera, plásticos, metales, mampostería, etc.

Durante la acción del fuego, la película de pintura absorbe energía térmica para formar la citada capa esponjosa; esta última se comporta además como un excelente aislante térmico (baja conductividad) y como barrera para controlar el acceso del aire a la interfase.

Los pigmentos activos son los siguientes:

- **Proveedor de carbono:** Se seleccionan polialcoholes de elevado peso molecular, los que por acción del fuego generan la deseable capa carbonosa aislante; sin embargo, durante esta etapa se comportan exotérmicamente, es decir que disipan que el calor que actúa como energía de activación para la conflagración. Usualmente se emplean pentaeritrol o dipentaeritrol.

- **Agente esterificante:** Esta sustancia se descompone por acción térmica, liberando ácido fosfórico responsable de la modificación de la pirólisis del alcohol polihidroxilado durante la conflagración; durante esta etapa se forman ésteres fosforados de comportamiento endotérmico (aumento entálpico, es decir que absorben calor), lo cual controla el aporte de la energía de activación necesaria para la propagación del fuego.

Frecuentemente se emplean polifosfatos de amonio, de reducida solubilidad en agua; esta última propiedad es especialmente considerada para su selección ya que no debe ser lixiviado desde la película en condiciones operativas (condensación de humedad, exposición al agua de lluvia, inmersión alternada o continua, etc.).

- **Generador de gases:** Desde un punto de vista comercial, hay diversos generadores de gases los cuales se descomponen en diferentes rangos de temperatura; esto es el factor generador de la intumescencia de la película durante la conflagración. Usualmente se emplean melamina, parafinas cloradas, etc.

Los intervalos de temperaturas de ablandamiento del ligante (material formador de película) y la del generador del ácido inorgánico esterificante de la sustancia polihidroxilada deben estar cercanas entre sí o preferentemente superpuestos al menos parcialmente para asegurar una adecuada formación de la capa esponjosa por acción térmica.

También se emplean los pigmentos convencionales para conferirle a la película poder cubriente, color, etc., como así también pigmentos ignífugos (boratos, carbonatos, alúmina, etc.) que por diferentes mecanismos contribuyen a mejorar la eficiencia en la acción contra el fuego.



Figura 1. Películas de pinturas intumescentes luego de la acción del fuego

- **Pinturas retardantes de llama.** Estas pinturas están basadas en productos halogenados, que por acción del fuego, se descomponen generando radicales libres que reaccionan con el oxígeno del aire, impidiendo de esta manera su acceso a la interfase sustrato-aire durante la conflagración. Generalmente estas pinturas están basadas en resinas alquídicas cloradas, epoxídicas, poliuretánicas, vinílicas, etc. El mecanismo de acción se complementa con la eliminación de gases incombustibles que contribuyen a disminuir significativamente el aporte de oxígeno.

Su performance se complementa con una acción en fase sólida dado que incrementa el residuo carbonoso aislante durante su pirólisis, el cual se comporta como capa aislante desde un punto de vista térmico y como una barrera a la transferencia de materia.

El pigmento más usado es el trióxido de antimonio por su capacidad para favorecer las citadas reacciones de radicales libres en la fase gaseosa. La relación cuantitativa entre este pigmento y el contenido de cloro proveniente de la resina en la película seca influye significativamente en la eficiencia retardante del fuego.

Estas pinturas se formulan con altos valores de concentración de pigmento en volumen ya que presentan mayor eficiencia debido a su elevado contenido de componentes inorgánicos (no combustibles) en la película seca. En general presentan menor eficiencia que las pinturas intumescentes, pero con mejores propiedades decorativas en un amplio rango de colores; son igualmente aptas para su empleo en interiores y exteriores.

Las películas orgánicas son fáciles de aplicar y de remover, además de ofrecer la posibilidad de aplicarse en estructuras ya instaladas. Además, tienen un elevado efecto sobre la inflamabilidad, el cual es un fenómeno superficial y no presentan consecuentemente incidencias sobre las propiedades fisicomecánicas del sustrato.

ENSAYOS DE REACCIÓN AL FUEGO PARA SUSTRATOS DIVERSOS

Se deben realizar ensayos normalizados sobre materiales desnudos o bien protegidos por impregnación (sustratos combustibles porosos y absorbentes) y / o con tratamientos ignífugos superficiales. Los ensayos que frecuentemente se realizan son los siguientes:

- **Índice Límite de Oxígeno (LOI):** Determina la mínima concentración de oxígeno, en una mezcla con nitrógeno, capaz de mantener la combustión de un material en condiciones de equilibrio, similar a la llama de una vela, Figura 2. Valores de LOI superiores al 28 % permite clasificar a los materiales como autoextinguibles.

- **Resistencia a la llama:** Evalúa la resistencia a la llama intermitente de un mecher Bunsen sustratos con tratamiento ignífugo o desnudos, de características combustibles o incombustibles, Figura 3.

- **Túnel inclinado:** Permite cuantificar el índice de propagación de la llama, la pérdida de masa, los tiempos de permanencia de la llama y de incandescencia del sustrato, Figura 4.

- **Ensayo de conductividad térmica:** Registra la disminución de la temperatura en la contrafrente de un sustrato expuesto a la acción del fuego; resulta así posible evaluar la capacidad de aislamiento térmico del material con o sin tratamiento ignífugo.

- **Análisis térmico de materiales:** Agrupa una serie de técnicas que permiten determinar la influencia de la temperatura sobre algunas propiedades físicas de una sustancia, tales como variaciones de masa (TGA, Análisis Térmico Gravimétrico) y energía (DTA, Análisis Térmico Diferencial).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), a la CICPBA (Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires) y a la UTN-FRLP (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata).



Figura 2. Cámara LOI (Limiting Oxygen Index)



Figura 3. Cabina Horizontal Vertical para ensayo de llama intermitente



Figura 4. Túnel Inclinado

BIBLIOGRAFÍA

- Athey, R., Shaw, P. The problem with fire, *European Coatings Journal*, 10, 428-431, 1999.
- Levin, B. C., Gann, R. G. Toxic potency of the fire smoke, *Fire and Polymers*. G. Nelson Ed., American Chemical Society Symposium Series, Washington, USA, 3-12, 1990.
- Manahan, S. E. *Environmental Chemistry*, 4 th ed. Lewis Pub., Boston USA, 1991.
- Addleson L. Heat and fire and their effects. *Materials for building*, vol. 4, Newnes & Butterworth Ed., London, UK, 151-159,1976.
- Fire Protection Association. Fire terms explained. *Fire prevention* (282) 33, 1995.
- Barrow G. M. *Química física*, Editorial Reverté, 3ra ed., Barcelona, España, 255-284, 1978.
- Atkins C. *Química física*, Ed. Addison Wesley, 3ra. ed., México, 109-155,1999.
- Levine I. *Fisicoquímica*, Ed. Mc Graw-Hill, Tomo I, Mexico, 1991.
- Chang, R. *Química*, Ed. Mc Graw-Hill Co, 6^{ta} ed., México, 1999.
- Castellan G. *Fisicoquímica*, Ed. Addison Wesley, 2da ed., México, 107-161, 1987.

- Hilado C. J. Decomposition, combustion and propagation. Flammability handbook for plastics, 4th edition, Technomic Pub., Pennsylvania, USA, 37-65, 1990.
- Troitzsch J., Talandis J. Fire regulations and testing of building materials. Protect. Coat. Europe, 4 (9), 45-49, 1999.
- Corbitt R. A. Standard Handbook of Environmental Engineering. Mc Graw-Hill Inc., New York, USA, 1990.
- Hirschler, M. Carbon monoxide and human lethality: fire and non-fire studies, Hirschler Ed., Elsevier, New York, USA, 1993.
- Kidder R.C. Fire hazard assessment program and impact on industry. Fire Retardant Chemicals Assoc. Conference, Annapolis, Maryland, USA, 136,161, 1988.
- Buchan R.B. Harmonization on building regulations: other fire linked factors. Behaviour of wood products in fire. Timber Committee of the United Nations, Pergamon Press, Oxford, UK, 105-107, 1977.
- Hindersinn, R.R. Historical aspects of polymer fire retardance, Fire and polymers, G. Nelson Editor, ACS Symposium Series, Washington, USA, 87-96, 1990.
- Sargent, P. Multi-layer paint: the fire problem, Pigm. & Resin Technol., 27 (6), 361- 370, 1998.
- Hartzell, G., Assessment of the toxicity of the smoke, Advances in combustion toxicology, Technomic Ed., Lancaster, USA, vol. 1, 8-18, 1988.
- Hartzell, G., Stacey, H., Switzer, W., Priest, D. Modeling of toxicological effects of fire gases, J.of Fire Sci.,3 (5), 330-342, 1985.
- Hilado C.J. Some relationships between relative toxicity and total and lethal weight loss of polymers. 180 th National Meeting ACS, San Francisco, California, USA, 297-303, 1980.
- Hirschler M.M. Heat release equipment to measure smoke. ACS Symposium Series. Fire ans polymers. G. Nelson editor. 197th of the National Meeting ACS, Texas, USA, 520-542, 1990.
- Flisi U. Harminization of fire testing in the European Community ACS Symposium Series. Fire ans polymers. G. Nelson editor. 197th of the National Meeting ACS, Texas, USA, 479-498, 1990.
- Dietenberger M.A. Protocol for ignability, lateral flame spread and heat release rate using LIFT apparatus. Proceedings of the American Chemical Society, Washington, USA, (71), 104 -105, 1994.
- Berhinig R.M. Overview of various fire tests methods for builing materials. Handbook of fire retardant coatings and fire test services. Technomic Pub. Pennsylvania, USA, 6-10, 1990.
- Drews M.J. Calorimetric investigation into the efficiencies of organo halogen / antimony oxides additives. 180 th National Meetings ACS, San Francisco, California, USA, 280-286, 1980.
- Schultz N. Practical application of the commercial cone calorimeter. Fire Retardant Chemical Association, San Antonio, Texas, USA, 239-257, 1989.

- Hirschler M.M. Tools available to predict full scale fire performance of furniture. *Polymeric Materials Science and Engineering. Proceedings of the ACS. Washington, USA, vol. 71, 97-98, 1994.*
- Marucci, O. N. Selección de sistemas contra incendio por el método de Pourt. *Vivienda 280, 51-56, 1985.*
- Pearce, E. M., Khanna, Y.P., Raucher, D. *Thermal Analysis in Polymer Flammability. Thermal Characterization of Polymeric Materials. E. Turi Ed; Academic Press, Florida, USA, 793-845, 1981.*
- Hicks H.D. *Building codes. Handbook of fire retardant coatings and fire retardant services. Technomic Pub., Pennsylvania, USA, 10-12, 1990.*
- Favstrisky, N., Wang, J. Flame retardant brominated styrene-based polymers, *J. of Coat. Technol., 69 (868), 39-44, 1997.*
- Mamleev V.S., Bekturov E.A., Gibov K.M. Dynamic of intumescence of fire retardant polymeric materials. *J. of Applied Pol. Sci., 70 (8), 1523-42, 1998.*
- Weil, E., Mc Swigam, B., Melamine phosphates and pyrophosphates in flame retardant coatings, *J. of Coat. Technol., 66(839), 75-82, 1994.*
- Farina G. Mechanism of functioning of intumescent paints. *Anticorrosione, 7 (25), 29- 33, 1999.*
- Benítez, J., Giúdice, C. Phosphorous-based intumescent coatings *European Coat. Journal, (1, 2), 52-59, 1998.*
- Pagella C. Weathering of water-borne intumescent coatings. *Pitture e Vernici, 74 (15), 43-50, 1998.*
- Giúdice, C., del Amo, B. Flame retardant paints I, *European Coat. Journa., (11). 740-755, 1991.*
- Giúdice, C., del Amo, B. Flame retardant paints II, *European Coat. Journal, (1,2), 8-14, 1992.*
- Ramsay, R. Onshore applications for intumescent coatings systems, *Surface Coat. International, 80 (11), 529-531, 1997.*
- Dunk, J. Fireproofing of offshore structures with epoxy intumescent materials, *J. Oil Col. Chem. Assoc., 72 (10), 413-420, 1989.*
- Allman, F., Leigh, J., Intumescent coatings for protection of steel, *J. Oil Col. Chem. Assoc., 72 (5), 181-184, 1989.*
- Giúdice, C., del Amo, B. Fire retardant paints, *Europ. Coat. Journal, (5), 248-258, 1992.*