

## **Protección de materiales estructurales mediante pinturas intumescentes: una lucha desigual contra el fuego**

*Juan G. Castaño\**, *Belén Chico\*\**, *Daniel de la Fuente\*\** y *Manuel Morcillo\*\**

(Recibido el 30 de septiembre de 2002)

### **Resumen**

Los incendios constituyen un problema de gran magnitud para las sociedades y sus sectores productivos, pues ocasionan grandes pérdidas humanas, materiales directas e indirectas, de difícil evaluación. Una manera de afrontar este fenómeno, desde el punto de vista ingenieril, tiene que ver con la prevención. En este sentido, las pinturas intumescentes constituyen un desarrollo importante y en continua evolución.

Estas pinturas tienen la capacidad de proteger contra el fuego diversos materiales estructurales, entre los cuales se destaca el acero. Al contacto con el fuego, tienen la capacidad de hincharse hasta un espesor doscientas veces mayor que el original, formando una capa esponjosa que aísla térmicamente el acero. Esto puede significar un retraso en su colapso estructural, lo que puede implicar reducción en la siniestralidad del incendio. En este trabajo se presentan las principales características de este tipo de pinturas y se describen los lineamientos generales de un proyecto europeo que se lleva a cabo en la actualidad para evaluar su degradación en diferentes atmósferas y la influencia de la misma en sus propiedades de intumescencia.

----- *Palabras clave:* pinturas intumescentes, fuego, degradación atmosférica, ensayos al fuego, materiales estructurales.

## **Protection of structural materials using intumescent coatings: an unequal fight against fire**

### **Abstract**

Fire is a high magnitude problem for societies and their productive sectors, since it causes great human and material losses, as well as hard to assess indirect

---

\* Grupo de Corrosión y Protección. Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Universidad de Antioquia. A.A. 1226. Medellín. [jcasta@udea.edu.co](mailto:jcasta@udea.edu.co).

\*\* Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Departamento de Ingeniería de Materiales. Degradación y Durabilidad. Avenida Gregorio del Amo 8. Madrid. España.

lost. From an engineering point of view, prevention is one of the forms to confront fire. In this way, intumescent coatings constitute an important development and their formulations has been under constant evolution.

These coatings have the ability to protect many structural materials against fire, including steel. In contact with fire, they swell up. This expansion forms an insulating barrier, which protects the steel from rapid increases in temperature. This barrier could delay structural collapse of the steel, what implies a reduction of catastrophic effects of fire. In this work, the main characteristics of intumescent coatings are presented and a project in execution are described. In this project, degradation of this coating in different atmospheres are studied.

----- *Key words:* intumescent coatings, fire, atmospheric degradation, fire tests, structural materials.

## **El fuego: indispensable y devastador**

El fuego ha sido indispensable para el desarrollo de la civilización, sin embargo, ha tenido efectos devastadores que, en algunos casos, han aniquilado comunidades enteras. Es importante aclarar la diferencia entre fuego e incendio, términos que suelen emplearse como sinónimos, pero que presentan diferencias sustanciales: el incendio es un accidente no deseado y potencialmente terrible (es el efecto) producido por el fuego (que es la causa).

Para que un fuego se inicie se requieren tres factores: combustible, comburente y energía de activación. Parte de la energía desprendida en la reacción se disipa generando un aumento de la temperatura del medio y la restante se transfiere a los productos reaccionantes aportando la energía de activación necesaria para que el proceso continúe. Si esta energía no es suficiente, el proceso se detiene, pero si es mayor que la necesaria, el proceso se acelera.

Se dice que hay combustión cuando una reacción exotérmica de oxidación se inicia y se desarrolla entre el combustible y el comburente. La combustión a gran escala involucra cinco estadios: 1) calentamiento por una fuente externa de calor que produce progresivo aumento de la temperatura; 2) descomposición en gases (combustibles o no combustibles), líquidos, sólidos o partículas sólidas arrastrados por el humo; 3) ignición o combustión de gases en presencia de oxígeno suficiente; 4) combustión del sustrato y 5) propagación de calor a la masa adyacente, que conduce a un estado completo de combustión [1].

El conocimiento de la teoría fisicoquímica de la combustión ha permitido el desarrollo de eficientes productos y medios de defensa contra incendios. Los estudios en el campo de los materiales resistentes a la llama y al calor han permitido satisfacer las exigencias de las legislaciones de diversos países, y nuevos productos y métodos de ensayo han tenido desarrollo relativamente reciente.

Sin embargo, los incendios siguen siendo un problema de gran magnitud para las sociedades y sus sectores productivos, pues ocasionan grandes pérdidas materiales y humanas, año tras año. En los países industrializados, las pérdidas económicas asociadas a este fenómeno pueden alcanzar el 0,25% del Producto Interno Bruto [2]. A menudo, se producen también importantes pérdidas indirectas de difícil evaluación, como la disminución de ingresos por la interrupción total o parcial de la actividad de una empresa o industria, pérdida de competitividad, pérdida de clientes, etc.

Es tan fuerte el impacto de un incendio que, según estimativos, de cada cinco empresas en las que ha ocurrido un incendio importante, cuatro de ellas desaparecen dentro de los tres años siguientes de ocurrido el siniestro [2].

## **Comportamiento de diversos materiales frente al fuego**

Es de sobra conocida la influencia que ejerce la temperatura en la resistencia mecánica de los materiales. La temperatura crítica de un elemento constructivo se define como aquella temperatura del material a la cual dicho elemento deja de ser capaz de mantener las condiciones de resistencia mecánica, aislamiento térmico, estanqueidad a las llamas y ausencia de emisiones de gases inflamables o tóxicos.

Al incendiarse un edificio, la temperatura de llama varía entre 700 y 900 °C. Por tanto, no existe ningún material que no se deteriore bajo fuego.

Por ejemplo, el aluminio pierde el 50% de su resistencia entre 250 y 300 °C, mientras que a 600 °C se funde. El hormigón falla cuando la temperatura alcanza los 500 °C. La madera aumenta su resistencia conforme aumenta la temperatura, pero llega a perderla cuando se carboniza. La madera sin tratar comienza a arder a los 300 °C. La excelente resistencia a la penetración del fuego que presenta la madera, permite mantener sus propiedades físicas y mecánicas por mayor tiempo que las estructuras de

metal o cemento. No obstante, contribuye a su propagación [3].

Cuando el acero se calienta entre 250 y 350 °C, pierde poco más del 50% de su resistencia original. Al alcanzar los 750 °C, ya ha perdido más del 90% [3]. En el caso de estructuras de acero, se considera que conservan la resistencia mecánica hasta que la temperatura media de todas las partes alcanza los 500 °C, o bien la temperatura media de una sección alcanza los 500 °C. Entonces, el elemento empieza a perder su capacidad portante [4].

### **Desarrollos en la protección del acero estructural frente al fuego**

Para poder proteger el acero estructural del calentamiento se han desarrollado varios sistemas, entre los que se incluye la protección mediante proyección de morteros, la aplicación de placas rígidas y las pinturas retardantes del fuego.

En la lucha de ingenieros y químicos para hacer frente a los efectos devastadores del fuego, se ha identificado la prevención como un aspecto preponderante. En este sentido, el desarrollo de pinturas retardantes de fuego ocupa un lugar importante.

Aunque ningún material es inmune a la acción de un incendio con suficiente intensidad y duración, el uso de recubrimientos retardantes del fuego eficientes puede reducir la severidad del fuego o atenuar sus efectos.

Sin embargo, hay que ser cuidadoso con el empleo de sistemas de recubrimiento en los cuales se mezclen las pinturas retardantes del fuego con otro tipo de pinturas. La acumulación de múltiples capas de pinturas convencionales puede proporcionar material para propagar las llamas. Muchos incendios han devorado construcciones que se autodenominaban como “resistentes al fuego”. Esto se debe al empleo de materiales de acabado y decorativos altamente inflamables, los cuales contribuyen a extender el fuego [5]. En estos casos, no hay protección que valga.

En condiciones de fuego severas, las pinturas retardantes generalmente no tienen una acción significativa. Sin embargo, en fuegos aislados o no intensos en los que la iniciación fue producida por un cigarrillo, cortocircuito eléctrico, fósforo o combustión espontánea, estas pinturas pueden desempeñar una acción importante [1]:

1. Favorecer la propagación del fuego, cuando presentan inflamabilidad con bajo punto de ignición.
2. Presentar inercia o sólo ligeras características ignífugas.
3. Retardar la evolución o bien extinguir el fuego, cuando incluyen ignífugos en su composición que actúan en fase sólida o gaseosa.

El comportamiento ignífugo de un material hace referencia a que este es difícilmente inflamable. Un efecto ignífugo eficiente interrumpe el proceso de combustión en uno o más estadios, por lo cual, el proceso finaliza en un lapso razonable, preferentemente antes que la ignición ocurra.

Las pinturas retardantes del fuego pueden clasificarse, según su mecanismo, en pinturas retardantes de llama y pinturas intumescentes.

Las primeras se caracterizan por su capacidad para producir gases por acción del calor, los cuales interfieren en las reacciones de propagación de la llama y en la intensidad de la misma. El pigmento más empleado es el trióxido de antimonio, el cual no es retardante de llama por sí mismo, pero al combinarse con compuestos orgánicos halogenados, como los cauchos clorados, las parafinas cloradas y las resinas alquídicas cloradas, presenta una acción altamente efectiva contra la llama [6].

Las segundas se hinchan, por efecto del calor, formando un aislamiento que retrasa el calentamiento del acero. En los apartados siguientes se profundizará un poco en las características más importantes de este tipo de pinturas.

## Las pinturas intumescentes

### *Características generales*

Hace ya diez años, el pabellón insignia de la feria mundial de Sevilla, España (Expo'92), denominado el "Pabellón de los Descubrimientos", se vio afectado por un incendio en varias de sus salas. La acción de la pintura intumescente que se había aplicado en este pabellón fue determinante para que la estructura resistiera durante más de tres horas sin que la zona siniestrada presentara síntomas de colapso estructural [7].

Como ha sucedido con casi todos los métodos de protección, el empleo de pinturas intumescentes ha sido objeto de gran controversia, y ha tenido defensores y detractores. Sin embargo, la investigación continua en este campo ha permitido superar algunos de estos aspectos controvertidos [5].

En la actualidad, su utilización experimenta un ritmo creciente, como protección de acero estructural contra los embates del fuego. Entre otros factores, esto se debe a su facilidad de aplicación, su muy baja carga adicional sobre las estructuras y la posibilidad de aplicación sobre estructuras en servicio [8, 9].

Las películas secas de estas pinturas, cuando se calientan, sufren un ablandamiento inicial y luego se hinchan, debido a un desprendimiento interno de gases incombustibles, tales como dióxido de carbono y amoníaco. Estos gases quedan en parte retenidos en la película, convirtiéndola en una espuma que puede alcanzar espesores de cincuenta, cien y hasta doscientas veces el espesor original [5]. La capa intumescente que se ha formado solidifica, resultando en una capa carbonosa, porosa e incombustible, que aísla y protege el material pintado, dificultando su aumento de temperatura e impidiendo el acceso de aire.

Mediante materiales o pinturas intumescentes, es posible proteger del fuego sustratos tan disímiles como papel, cartón, madera, plásticos, metales, etc. Las pinturas intumescentes se aplican normalmente en dos o tres capas, de entre 150 y 200 mm de espesor de película húmeda cada una, con el propósito de alcanzar la máxima eficiencia ignífuga [1].

### *Componentes*

Los componentes de un sistema intumescente se resumen en la tabla 1 [10]. Estos recubrimientos contienen cuatro componentes básicos

**Tabla 1** Componentes de un sistema intumescente [10]

<i>Función</i>	<i>Naturaleza química</i>
Compuesto formador de residuo carbonoso	Polialcoholes: pentaeritrita Hidratos de carbono
Agente espumógeno	Compuestos nitrogenados: melamina Compuestos halogenados: parafina clorada
Deshidratante ácido	Polifosfato amónico
Catalizador de la estearificación	Óxidos e hidróxidos de metales alcalinos y alcalinotérreos, bióxido de titanio, etc.
Agente vitrificante	Boratos
Agente reforzador	Fibras minerales
Otros componentes, según el sistema	Mastic, pintura, etc.

interdependientes: el aglomerante y tres componentes activos intumescentes (catalizador, agente carbonífero y agente espumógeno).

**Aglomerante:** es una resina termoplástica “no convertible”, con un determinado punto de fusión. Si el recubrimiento es objeto de una intensa fuente de calor, el aglomerante se funde, de tal manera que las reacciones tienen lugar en fase líquida. Una excepción de resinas “no convertibles” es el grupo epoxy. Las pinturas intumescentes con aglomerantes de este tipo se utilizan en condiciones ambientales extremas.

**Agente carbonífero:** se trata de una sustancia orgánica con muchos grupos hidroxilo. Generalmente se emplea un pentaalcohol (por ejemplo, el pentaeritritol, sus dímeros, trímeros y derivados). Este compuesto se descompone por la acción del ácido liberado en la catálisis, originando un residuo carbonoso. En estas circunstancias, la reacción es endotérmica, no se forma llama ni residuos inflamables y la formación de gases combustibles es mínima. Así, el riesgo de propagación del fuego se ve muy limitado.

**Catalizador:** normalmente se emplea polifosfato de amonio o fosfato de melamina. El agente deshidratante o catalizador se descompone liberando ácido fosfórico, que esterifica los grupos hidroxilo del agente carbonífero, los cuales se transformarán en ésteres fosfóricos que presentan las características mencionadas frente al fuego. El polifosfato amónico es insoluble en agua, lo que garantiza mayor durabilidad de la protección.

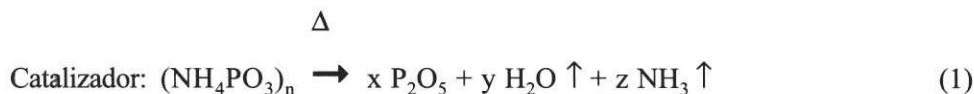
**Agente espumógeno:** se descompone liberando gases volátiles no combustibles que ayudan a la formación de una espuma que aísla el sustrato del calor. Este aditivo se basa generalmente en productos nitrogenados, como la melamina, o en compuestos orgánicos parcialmente halogenados, como las parafinas cloradas.

Generalmente, es necesario efectuar muchos ensayos para optimizar el grado de intumescencia y compatibilizar además esta propiedad con las características indispensables que debe reunir la película. La concentración de pigmento en volumen tiene una influencia muy significativa sobre el espesor alcanzado en la intumescencia y la velocidad de propagación de llama. Se obtiene mejor comportamiento ignífugo con altas concentraciones de pigmento en volumen.

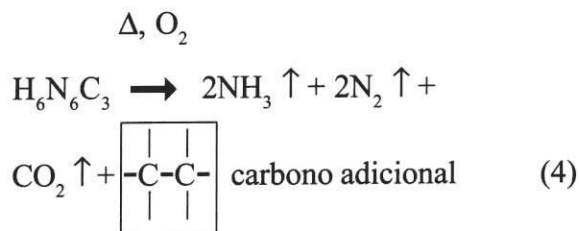
Las propiedades reológicas de estas pinturas son en general pobres, lo cual influye sobre el aspecto superficial de la película aplicada. Estas películas tienen muy bajo brillo y son muy porosas debido a la alta concentración de pigmento en su composición, presentan baja resistencia en zonas de alta humedad y requieren repintados periódicos por su limitada vida útil.

### Proceso de formación de la espuma

Todos los componentes mencionados anteriormente inician, a partir de 200 °C, una serie de reacciones entre sí, originando una capa aislante denominada intumescencia [10]. En este ejemplo, el polifosfato de amonio (catalizador) y el agente carbonífero reaccionan de la siguiente manera:



Al mismo tiempo, el agente espumógeno (melamina) se descompone en compuestos volátiles:



La espuma formada se carboniza y solidifica, dejando un lecho de espesor controlado que aísla al acero del calor.

Es importante que el catalizador tenga una temperatura de descomposición cercana a la del agente espumógeno. Por ejemplo, si el espumógeno se descompusiera a una temperatura muy superior a la del catalizador, se formaría una masa carbonosa sin expandir, la cual no tendría una conductividad calorífica baja. Por el contrario, si la temperatura de descomposición del espumógeno es demasiado baja, los gases escaparían antes de que la masa carbonosa se formara [1].

### Ensayos de comportamiento frente al fuego

Existe gran variedad de métodos de ensayo para valorar el comportamiento del acero protegido frente al fuego [11-14]. La característica que los diferencia es la manera de determinar la acción de un fenómeno como el fuego, que no se ajusta a leyes perfectamente establecidas y sobre el cual el azar y la gran diversidad de variables influyen considerablemente. El comportamiento frente al fuego puede evaluarse por exposición directa a una fuente calorífica. La reacción al fuego abarca muchas posibilidades, según las condiciones del ensayo, en el cual debe reflejarse la interacción entre el material, el diseño y su utilización [15]. Los ensayos que se realizan pueden ser a pequeña o a gran escala.

Por ejemplo, uno de los ensayos que se realiza a pequeña escala es el denominado ensayo

“Meker”, en el cual se someten placas de acero, recubiertas con el sistema intumescente, a la llama directa de un soplete. La capacidad protectora de la pintura intumescente se evalúa de acuerdo con la temperatura alcanzada por el metal y la altura final del recubrimiento (intumescencia).

En este ensayo, las placas recubiertas se introducen en un horno pequeño, con cierta inclinación respecto a la vertical. El horno es construido con material refractario y cuenta con dos termopares que se colocan en una de las paredes del horno y en la cara posterior del metal (la que está sin pintar). La cara recubierta es expuesta al fuego del soplete, ubicado a una distancia determinada (figura 1), durante diez minutos. En este intervalo, se registran las temperaturas de la pared y del metal, minuto tras

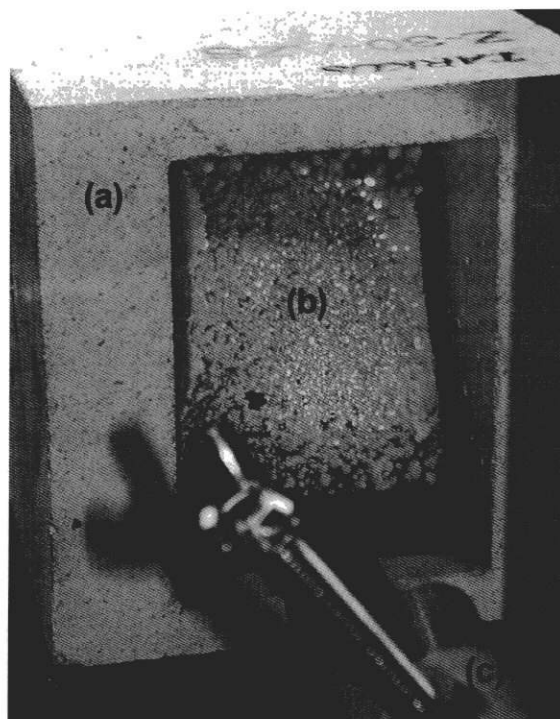
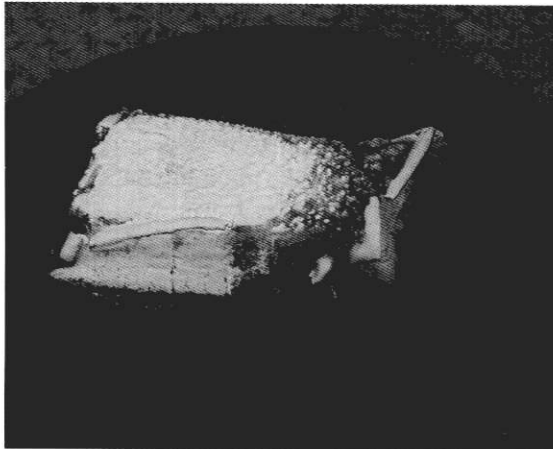


Figura 1 Ensayo Meker para evaluar el comportamiento al fuego, a pequeña escala, de una pintura intumescente: a) refractario; b) placa de acero pintada, en proceso de hinchamiento y c) boquilla del soplete

minuto. En el primer caso, para controlar que el horno no se recaliente demasiado. En el segundo caso, para estimar qué tanto ha sido protegido el metal por la pintura, en virtud a la temperatura máxima alcanzada por este.

A medida que transcurre el ensayo, la pintura se va hinchando y, una vez terminado, se retira del horno y se mide la altura promedio del recubrimiento. A mayor espesor final, la pintura es más efectiva, siempre y cuando no aparezcan agujeros en la misma. En la figura 2 se observa hasta qué punto puede hincharse un recubrimiento de este tipo, pudiendo alcanzar espesores hasta de 40 cm.



**Figura 2** Aspecto de un sistema intumescente después de finalizado el ensayo Meker, con un buen grado de hinchamiento

Para medir el espesor, los recubrimientos hinchados son partidos en varios trozos, de manera similar a como se parte una torta, pues en general son blandos. En la figura 3 puede observarse el aspecto interior de una pintura con buen grado de intumescencia: presenta un aspecto con enormes poros y agujeros, similar a una esponja. Esta porosidad es la responsable del aislamiento térmico del metal.

Existe otro tipo de ensayos, como el del “índice de oxígeno límite”, ASTM D 2863-87 [16], o el



**Figura 3** Aspecto esponjoso del interior de un sistema intumescente, después del ensayo Meker

de conductividad térmica [5], los cuales, aunque no son propiamente ensayos de comportamiento al fuego, pueden resultar relevantes para la evaluación de un sistema intumescente.

### ***Degradación de pinturas intumescentes expuestas a la atmósfera***

Para garantizar una pintura intumescente desde el punto de vista de la protección anticorrosiva, se pueden utilizar los mismos criterios que están definidos para las pinturas anticorrosivas, es decir: corrosión del sustrato, grado de ampollamiento, desprendimientos, entizamiento, etc. Sin embargo, desde el punto de vista de la protección al fuego, todavía existen dudas a la hora de evaluar el grado de deterioro que obligue a una reparación. Es evidente que un sistema intumescente con un avanzado estado de degradación por su interacción con la atmósfera difícilmente podrá ofrecer buena protección contra el fuego. Sin embargo, este es un tema que podría encauzarse con base en ensayos de resistencia a la intemperie, que ayuden a definir el criterio que se seguirá en el futuro, con el objeto de evaluar la protección antifuego de estos recubrimientos, en función de los resultados obtenidos.

El mantenimiento de un sistema intumescente aplicado sobre estructuras de acero dependerá de las condiciones de exposición. En ambientes



muy poco agresivos (atmósferas interiores y exteriores en un ambiente rural) el mantenimiento es prácticamente inexistente. En estas condiciones, se presta especial atención a la capa de acabado, puesto que su integridad influirá notablemente en las propiedades de protección de la pintura intumescente.

En un estudio llevado a cabo en el marco de un proyecto europeo de investigación de pinturas intumescentes aplicadas sobre probetas de acero, se halló que, después de un determinado tiempo de exposición en una atmósfera poco agresiva (con una categoría de agresividad C2, de acuerdo con la norma ISO 12944 [17]), estas permanecieron prácticamente inalteradas [4].

Anteriormente los sistemas intumescentes no tenían un comportamiento anticorrosivo demasiado bueno en atmósferas de elevada agresividad. Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado (y se siguen desarrollando) sistemas de pintura que cada vez compaginan mejor ambas características.

Actualmente se lleva a cabo un programa europeo más extenso de exposiciones de probetas de acero pintadas en ambientes más agresivos, externos e internos, con distintas categorías de agresividad según la norma ISO 12944, como parte del proyecto "Development of alternative technologies for off-site applied intumescent coatings", financiado por la *European Coal and Steel Community* (ECSC). Las categorías incluidas son la C3 (ambientes externos en atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación por dióxido de azufre y áreas costeras con baja salinidad; ambientes internos en lugares con elevada humedad y algo de contaminación) y la C4 (ambientes externos en áreas industriales y costeras con salinidad moderada; ambientes internos en plantas químicas, piscinas, etc.) [4, 18].

Este proyecto, en el cual participan entidades del Reino Unido, España, Francia y Luxemburgo, contempla el desarrollo de nuevas formulaciones de pintura, la evaluación de los tipos de daño que pueden ocurrir y su influencia en la habilidad de

la pintura para proteger el acero en caso de fuego, la evaluación de la degradación de pinturas nuevas y comerciales en varios ambientes, y la realización de ensayos al fuego, a pequeña y gran escala, en varias etapas del proyecto.

En cuanto a los estudios de degradación de pinturas intumescentes convencionales y nuevas, se estudian diversos factores, además de los tipos de atmósfera mencionados. Entre ellos se incluye: la presencia o ausencia de una capa de imprimación, presencia o ausencia de una capa de acabado, el tiempo de exposición y la realización o no de un poscalentamiento, después de aplicado el sistema intumescente. Las exposiciones se están llevando a cabo en la actualidad y están a cargo del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas —Cenim— de España. Las atmósferas consideradas son de elevada agresividad: dos exteriores cercanas al mar y a centros industriales y dos interiores (una piscina y una planta de galvanizado). En el grupo español se cuenta con la participación de un miembro del Grupo de Corrosión y Protección, adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, como apoyo en las actividades de evaluación de las probetas expuestas, ensayos al fuego y análisis de resultados. En la tabla 2 se indican los sistemas de pintura que se están evaluando.

Durante la exposición atmosférica y al finalizar ésta, las probetas pintadas se han venido sometiendo a ensayos al fuego a pequeña escala (ensayo "Meker"), aplicando el soplete durante 10 min. y comparando su comportamiento con el de probetas no expuestas. El propósito de estos ensayos es determinar si las condiciones de envejecimiento natural influyen en la capacidad de intumescencia, causando una disminución en su capacidad de protección frente al fuego. Paralelamente, se vienen realizando ensayos para analizar cambios en la química de la intumescencia, mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), análisis térmico diferencial (DTA) y termogravimetría (TGA) [5, 19]. Posteriormente, se realizarán ensayos al fuego a gran escala, en laboratorios acreditados.

**Tabla 2** Pinturas comerciales y experimentales expuestas en diferentes atmósferas españolas. Las casillas marcadas con x indican los sistemas de recubrimiento que se están evaluando

Nombre	Características	Sistemas de recubrimiento			
		Sólo intumescente	Capa de imprimación + intumescente	Intumescente + Post-calentamiento	Intumescente + capa de acabado
Ameron	Pintura comercial Resistencia al fuego: hasta 2 h Sólidos en volumen: 68 ± 3% Curado: por evaporación de solvente	x	x	x	x
Unitherm	Pintura comercial Resistencia al fuego: hasta 2 horas Sólidos en volumen: 69 ± 3% Curado: por evaporación de solvente	x	x	x	x
Nu Chem	Pintura experimental Alto contenido de sólidos	x	x	x	
Solvent free	Pintura experimental Sin solvente	x			
Acrylic	Pintura experimental Resina acrílica	x		x	

### Conclusión

En la lucha desigual que libran ingenieros y químicos contra los devastadores efectos del fuego, el desarrollo de las pinturas intumescentes constituye un paso adelante. Si bien, no existe material ni estructura alguna que pueda soportar un incendio con suficiente intensidad y duración (lo ocurrido en aquel 11 de septiembre constituye un doloroso ejemplo), el empleo adecuado de este tipo de pinturas puede reducir la severidad del fuego o atenuar sus efectos durante un tiempo determinado. La influencia del ambiente en la pérdida de propiedades de este tipo de recubrimientos es objeto de intensa investigación, en la búsqueda de sistemas que exhiban al mismo tiem-

po buenas propiedades contra el fuego y la degradación atmosférica.

### Referencias

1. Giúdice, Carlos. "Pinturas retardantes del fuego". En: *Anales CIDEPINT 1992*. La Plata, Argentina. 1992. pp. 1-16.
2. Del Amo, Beatriz y Giúdice, Carlos. "Pigmentos ignífugos de acción física en pinturas retardantes de llama". En: *Anales CIDEPINT 1994*. La Plata, Argentina. 1994. pp. 95-101.
3. Giúdice, Carlos. "Pinturas retardantes de fuego. Su tecnología e importancia en la protección del biodeterioro del patrimonio". En: *Prevención y protección del patrimonio cultural Iberoamericano de los efectos del*

- biodeterioro ambiental*. Medellín. CYTED-Universidad de Antioquia. Mayo, 2002.
4. Chico, Belén; de la Fuente, Daniel y Morcillo, Manuel. "Influencia de las condiciones de exposición atmosférica en la degradación de pinturas intumescentes". En: *Memorias V Congreso Nacional de Corrosión y Protección. 244th Event of the European Federation of Corrosion*. Madrid. Fundación Gómez-Pardo. Junio de 2000.
  5. Benítez, J. C. Y Giúdice, Carlos. "Phosphorus-based intumescent coatings". En: *Memorias Diplomado en pinturas anticorrosivas-tercer nivel*. Medellín. Universidad de Antioquia-ASCOR. Agosto, 2001.
  6. Del Amo, Beatriz y Giúdice, Carlos. "Pinturas retardantes de llama. Influencia de la concentración de pigmento en volumen y del nivel de trióxido de antimonio". En: *European Coatings Journal*. No. 1-2. 1998. pp. 52-59.
  7. Alavedra, P. y Sánchez, M. "Ejemplo de protección de estructuras metálicas con pinturas intumescentes. Análisis del Pabellón de los descubrimientos de la Expo '92". En: *Revista Dyna*. Madrid. Mayo, 1992.
  8. Barnfeld, J. "Paint coatings for fire protection to structural steel towards a harmonised european procedure". En: *Industrial Corrosion*. Vol. 6. No. 9. 1988. pp. 16-17.
  9. Dowling, J. "Fire protection using intumescent coatings". En: *Surface Coatings International (JOOCA)*. Vol. 80. No. 1. 1997. pp. 26-29.
  10. Salví, F. "Los sistemas intumescentes en la protección pasiva contra el fuego". En: *Montajes e Instalaciones*. Marzo, 1995.
  11. ASTM E 84-80: "Surface burning characteristics of building materials". American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1980.
  12. ASTM D 1360-79: "Fire retardancy of paints (cabinet method)". American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1979.
  13. ASTM E 162-87: "Surface flammability of materials using a radiant heat energy source". American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1987.
  14. ASTM D 1433-77: "Rate of burning and/or extent and time of burning of flexible thin plastic sheeting supported on a 45 degree incline". American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1987.
  15. Giúdice, Carlos y Del Amo, Beatriz. "Pinturas retardantes de llama. Influencia del contenido de cloro en la resina alquídica y de la relación trióxido de antimonio/cloro". En: *Anales CIDEPINT 1992*. La Plata, Argentina. 1992. pp. 35-52.
  16. ASTM D 2836-87: "Flammability of plastics using the oxygen index method". American Society for Testing and Materials. Philadelphia. 1987.
  17. ISO 12944: "Paint and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 2: Classification of environments". International Standardization Organization, Gêneve. 1994.
  18. Chico, Belén et al. "Degradación atmosférica de un recubrimiento de pintura intumescente". *7º Congreso Nacional de Materiales*. Madrid. Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Octubre de 2002.
  19. Taylor, A. P. and Sale, F.R. "Thermal analysis of intumescent coatings". En: *Polymers Paint Colour Journal*. No. 182. 1992. p. 4.301.
  20. <http://www.ameron-bv.com/coatings/fire/intumescentlink.html>.
  21. <http://www.unitherm-online.com/produkte/index.php>.