

Envejecimiento y comportamiento al fuego de fibras ignifugadas y sin ignifugar. Calidad del ignifugado frente a los tratamientos de conservación y uso (*)



SUMARIO

Un material convenientemente diseñado o tratado puede dar cumplimiento en origen a las actuales exigencias reglamentarias en cuanto a su clasificación al fuego. Sin embargo, se carece hoy de garantías acerca de la conservación en el tiempo, e incluso comprobación, de tales propiedades al estar sometido a condiciones de conservación y uso. En este trabajo se analizan los efectos de la acción de operaciones básicas de envejecimiento acelerado sobre el comportamiento en su reacción al fuego de materiales textiles, atendiendo a los factores condicionantes de tal comportamiento en cuanto a las características del sustrato textil, del ignifugante y del tipo de ignifugado, a través del mecanismo de reacción al fuego.

Palabras clave: Ignifugación, envejecimiento, comportamiento al fuego, materiales textiles.

ALICIA LARENA

*Dra. en Ciencias Químicas,
Catedrática Universitaria del Área
de Ingeniería Química,
E.T.S. de Ingenieros Industriales
de Madrid.*

PABLO HERNÁNDEZ TAPIA

*Ingeniero Técnico Industrial Textil,
E.T.S. de Ingenieros Industriales de
Madrid.*

INTRODUCCIÓN

El tema de seguridad en caso de incendio es de transcendental importancia por las consecuencias y pérdidas humanas y materiales que puede ocasionar. Por tanto, es igualmente

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 1994 correspondiente a la beca concedida en la Convocatoria 1992-1993 sobre «Estudio predictivo» sobre el envejecimiento de fibras textiles ignifugadas».

importante el conocimiento de la reacción al fuego de materiales textiles y poliméricos, ya que supone una importante carga de fuego, y más aún cuando estos materiales se utilizan en edificios públicos. Es necesario disponer de conocimientos suficientes sobre las posibilidades de ignifugación, el efecto de los ignifugantes y el diseño de polímeros ignífugos, así como los tratamientos ignífugos que permitan mejorar las características ignífugas de un material textil y polimérico.

Un material convenientemente diseñado o tratado puede dar cumplimiento en origen a las actuales exigencias reglamentarias en cuanto a su reacción al fuego. Sin embargo, su alteración, al estar sometido a situaciones de uso cotidianas y a condiciones de conservación, hace que el inicial cumplimiento reglamentario no ofrezca garantías de seguridad en el tiempo sobre el comportamiento de ese material en su reacción al fuego.

La clase de reacción al fuego de un material (clasificación por su reacción al fuego) puede determinarse para los distintos materiales mediante ensayos normalizados de reacción al fuego. A su vez, la aplicación de tratamientos ignífugos permite mejorar la reacción al fuego de un determinado material. Sin embargo, la evaluación de la fiabilidad y durabilidad de la ignifugación es un tema que está poco desarrollado en la actualidad.

Concretamente, hoy se carece de seguridad acerca de cuál es la permanencia temporal de la efectividad del tratamiento de ignifugación en fibras ignífugas y, más aún, de la generalidad de criterios de valoración y definición de procesos de envejecimiento acelerado que permitan predecir la permanencia del efecto ignífugo en un plazo fijado de tiempo.

Las acciones de conservación y uso sobre el material ignífugo van a conducir a la pérdida o disminución del efecto ignífugo al ocasionar una degradación directa en el ignífugo y en el propio material textil.

Todo ello hace necesario un estudio predictivo sobre el envejecimiento de fibras textiles y materiales poliméricos ignífugos.

La interrelación de predictores del comportamiento de un material en su reacción al fuego y de la acción de las operaciones básicas de envejecimiento sobre los mismos se puede considerar como pauta para el conocimiento predictivo del efecto de envejecimiento de fibras textiles ignífugas y canal de evaluación de la eficacia de los ensayos de envejecimiento utilizados.



Panel radiante para clasificar la reacción al fuego de revestimientos de suelos.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este trabajo trata, por una parte, de obtener información acerca del ciclo relacional, envejecimiento y comportamiento al fuego del textil ignífugo en correlación con las operaciones básicas de envejecimiento y a través del mecanismo de reacción al fuego. Por otra parte, trata de avanzar en los criterios de valoración de la calidad del ignífugo frente a tratamientos acelerados de conservación y uso, buscando una explicación a los comportamientos previstos en el efecto del envejecimiento sobre los factores condicionantes del comportamiento al fuego en cuanto a las características del sustrato textil, del producto ignífugo y del proceso de ignifugación.

Así como el comportamiento de las materias textiles en su reacción al fuego ha de basarse en criterios de análisis físico-químicos de su reacción al fuego y de análisis de los tratamientos que alteran la misma, los criterios de valoración de la calidad y permanencia del efecto ignífugo han de basarse en criterios de análisis físico-químicos de las acciones de envejecimiento sobre los parámetros que definen el comportamiento al fuego.

1. Para ello, se han analizado, en cuanto a la tipificación del efecto que producen en las propiedades de resistencia al fuego del material textil, los factores intervinientes, que se citan a continuación:

- Las variables de construcción dadas en las operaciones de hilatura y tejeduría.

- Las variables de construcción dadas en las moquetas.
- La preparación de fibras naturales.
- Las operaciones de apresto y acabados.
- Las operaciones de tintura y estampación.

2. Asimismo se han analizado con respecto al ignífugo, en cuanto al establecimiento del tipo de acción -física o química- y de la fase de actuación -fase sólida o gaseosa-, los siguientes aspectos:

- La acción de ignífugos primarios.
- Los efectos sinérgicos.
- La actividad de los aditivos.
- El grado de importancia de diferentes ignífugantes para fibras convencionales.

3. Las características del proceso de ignifugado se han analizado como explicación del efecto y modo de actuación de los ignífugantes. En este sentido se han analizado los puntos siguientes:

- Acabado ignífugo.
- Métodos de ignifugación.
- Fases en las que se puede dar efecto ignífugo a un polímero.
- Fibras ignífugas mediante diseño de polímero.
- Tratamientos ignífugos mediante modificación del polímero durante su elaboración.
- Tratamientos ignífugos generales en fibras convencionales.
- Tratamientos ignífugos en mezclas.

4. Finalmente hemos analizado:

- La calidad del ignífugo frente a tratamientos de conservación y uso.

- El ciclo relacional del envejecimiento y el comportamiento al fuego de fibras ignifugadas y sin ignifugar a través del mecanismo de reacción al fuego (Fig. 1).

5. Se concluye con una motivación al estudio y análisis de los gases de combustión en productos ignifugados y no ignifugados.

FACTORES CONDICIONANTES DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO

Características del sustrato textil

Las características externas de los tejidos, constituidos de hilos, y éstos, a su vez, de fibras, son un factor importante en el estudio de la inflamabilidad de los textiles.

Los tejidos que presentan una relación aire-sólido más alta quemarán más fácilmente. Igualmente, variables de la construcción del tejido, como pueden ser el diámetro del hilo, ligamento del tejido y otros también influyen, de manera que los tejidos de construcción floja arden más fácilmente que los de construcción tupida.

Las características del sustrato textil que condicionan el comportamiento al fuego son:

Variables de construcción

Tanto las variables de construcción dadas en las operaciones de hilatura y tejeduría como las variables de construcción dadas para moquetas, en su caso.

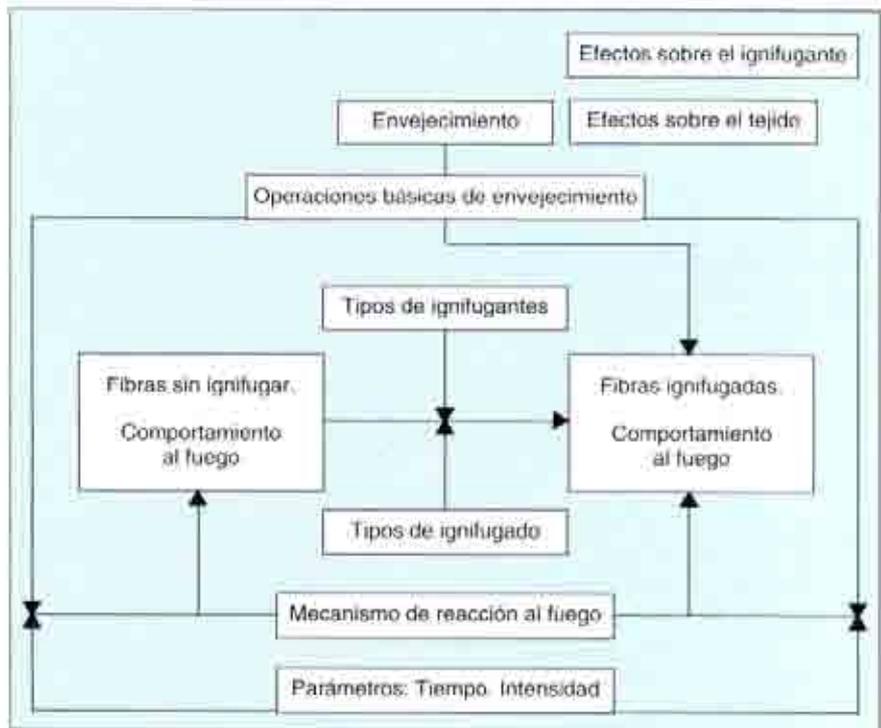
En las operaciones de hilatura y tejeduría intervienen como factores condicionantes: diámetro de fibras, densidad de los hilos en el tejido, número de hilos, ligamento, peso por metro cuadrado, coeficiente de ligadura y contracción del tejido.

Las variables de construcción dadas en las moquetas intervienen como factores condicionantes: las variables de construcción de la felpa y las de construcción del basamento.

Preparación de fibras naturales

Se entiende por preparación el conjunto de operaciones generalmente destinadas a eliminar las impurezas que puedan estar presentes con el fin de dejar el género limpio y preparado para recibir las operaciones de tintura y acabado, como, por ejemplo, descrudado, blanqueo, desencolado, cha-

FIGURA 1. Ciclo relacional: envejecimiento-comportamiento al fuego.



Epirradiador. Es el ensayo básico de reacción al fuego para materiales rígidos.

muscado, carbonizado, o desgrasado.

Estas operaciones pueden degradar a la fibra, lo que haría que disminuyeran sus propiedades de resistencia al fuego, pero, por otra parte, tienden a formar tejidos más regulares y compactos, lo que mejoraría dichas propiedades. La mayor contribución de uno u otro factor va a depender, en cada caso, de la propia estructura y composición de la fibra y del grado de preparación a que sea necesario someterle, en su caso.

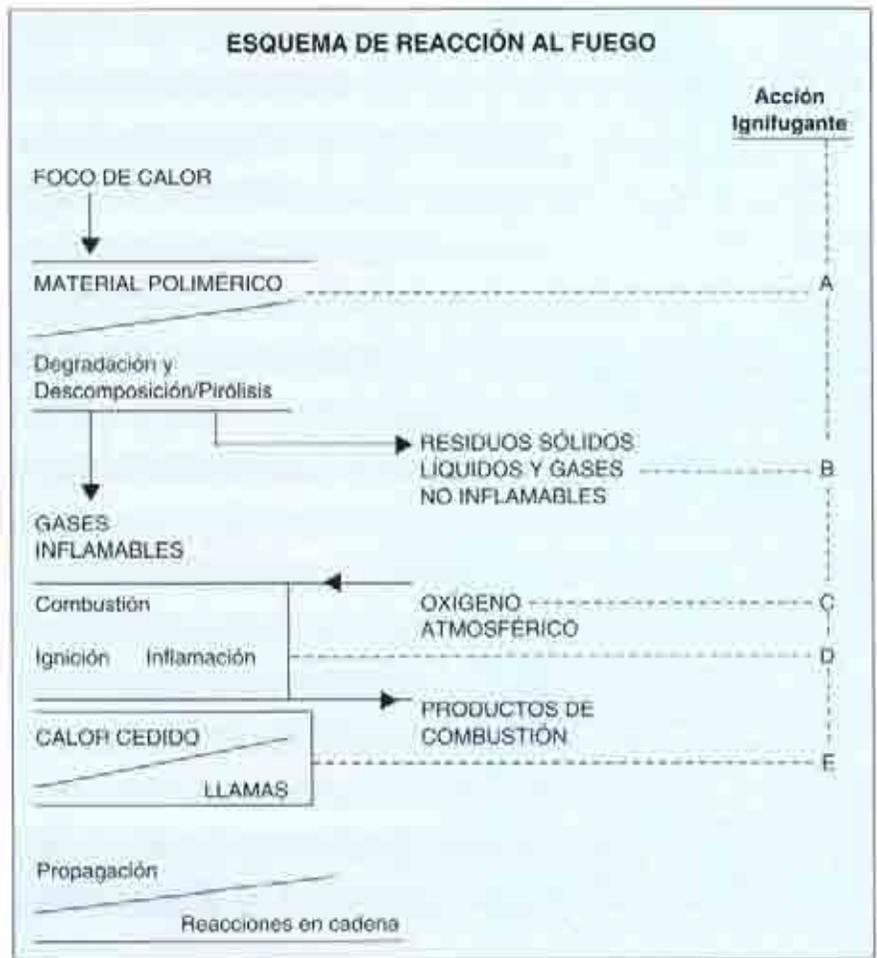
Operaciones de apresto y acabados, de tintura y estampación

Se han analizado diversas operaciones de apresto y acabados, como batanado, perchado, tundido, prensado, acabado inarrugable, apresto antiséptico, mercerizado, termofijado y acabado impermeable.

Características del producto ignífugante

Las diferentes opciones para la impartición del efecto ignífugo son:

- Mediante diseño de un polímero, por ejemplo, fibras altamente cloradas.



Medida de la velocidad de propagación de llama en una muestra textil.

– Mediante la modificación de polímeros conocidos, por ejemplo, acrílicos, poliéster o viscosa FRs.

– Por incorporación a los materiales poliméricos de productos químicos adecuados. Esto puede hacerse en la fase de elaboración del artículo o en el producto acabado.

Los productos ignifugos más utilizados, en cuanto a su forma de acción, se pueden clasificar en tres categorías: primarios (compuestos de fósforo y compuestos halogenados), sinérgicos (por combinación de dos productos ignifugos se pueden obtener un efecto ignifugo superior a la suma de los efectos de la aplicación de ambos productos individualmente) y aditivos (considerados como coadyugantes, su actividad es fundamentalmente física).

Según sea la consecución de un tipo de ignifugado que pueda mantenerse en el material durante el periodo normal de su vida útil o no lo llamamos permanente o semiduradero.

La acción ignifugante a través del mecanismo de reacción al fuego viene tipificada por la terminología A, B, C, D y E, según el esquema de reacción al fuego.

A. Acción química en fase sólida: Aumenta la estabilidad térmica del material al aumentar la temperatura de pirólisis.

B. Acción química/física, fase sólida: Disminuye la inflamabilidad del material por disminución del porcentaje de gases inflamables y formación de un residuo carbonoso.

C. Acción física en fase sólida: con formación de recubrimientos impermeables al aire con lo que disminuye la relación aire/sólido.

D. Acción química en fase gaseosa: Mejora el comportamiento al fuego al alterar la combustión y disminuir la cantidad de calor generada.

E. Acción física en fase sólida: Mediante eliminación de calor mantiene al textil por debajo de su temperatura de descomposición.

La Tabla 1 muestra la actividad y

modos de actuación de diferentes ignifugantes.

Características del proceso de ignifugado

Mediante un tratamiento ignifugo se pretende que las fibras inflamables se transformen en combustibles, y las combustibles, lo sean en menor proporción.

Los factores que influyen en la inflamabilidad de las fibras son fundamentalmente tres: la naturaleza de la fibra, las características externas y estructura del tejido y la acción ignifugante conferida mediante procesos de ignifugado.

TABLA 1. Actividad y modos de actuación de los productos ignifugantes.

<p>Primarios</p>	<p>Compuestos de fósforo Son básicamente activos en la <i>fase sólida</i>, pues provocan una disminución de gases inflamables producidos en la pirólisis y se forma un residuo carbonoso. En menor medida tienen un mecanismo de actuación en fase gaseosa para el caso de lana y poliéster. Actividad química principalmente.</p> <p>Compuestos halogenados La acción de estos compuestos principalmente es en la <i>fase gaseosa</i>, pues su actividad se basa en un mecanismo de formación de radicales libres que se combinan con el oxígeno del aire, de tal manera que esta combinación no es apta para la oxidación de los gases generados por la descomposición del sustrato, con lo que se inhibe también la combustión. También, aunque en mucha menor medida, actúan en la fase sólida porque hacen que aumente el residuo carbonoso durante la pirólisis del polímero. Actividad química.</p>
<p>Aditivos</p>	<p>Compuestos de boro Actúan en la <i>fase sólida</i>, pues aíslan a la fibra, impidiendo el paso de los gases combustibles desde la zona de pirólisis del polímero hacia el frente de la llama, actuando al mismo tiempo como una barrera aislante que impide la transferencia de calor hacia la superficie del polímero.</p> <p>Compuestos metálicos Son productos recubrientes, absorbentes de calor y, por lo tanto, buenos conductores del mismo, realizando su difusión. También se van a oponer a la penetración del oxígeno y van a absorber una parte de la energía radiante resultante de la combustión de los productos volátiles. Por lo tanto, van a actuar en <i>fase sólida</i>, siendo su mecanismo de acción física.</p>
<p>Sinérgico</p>	<p>Definición Por combinación de dos productos ignifugos se pueden obtener un efecto ignifugo superior a la suma de los efectos resultantes de la aplicación de ambos productos individualmente.</p> <p>Efecto fósforo/nitrógeno Incrementa el efecto ignifugo por formación de un retículo de enlaces con la celulosa que inhibe el desprendimiento de fragmentos volátiles combustibles y promueve la formación de residuo carbonoso (fase sólida). Además, las uniones P-N fijan el P en el material polimérico y evitan su pérdida por volatilización.</p> <p>Efecto halógeno/antimonio El SbCl₃ es liberado en la fase gaseosa. El SbOCl, que es un ácido de Lewis fuerte, actúa en la fase sólida, favoreciendo las reacciones de carbonización durante la descomposición térmica. Aunque su acción más importante es en la fase gaseosa, en la que los halógenos de antimonio actúan como captadores de radicales.</p> <p>Efecto fósforo/halógeno Se justifica el sinérgico por los propios mecanismos de actuación de los compuestos de fósforo y halógeno. Actividad química.</p>

Las características externas de los tejidos, constituidos de hilos, y éstos, a su vez, de fibras son un factor importante en el estudio de la inflamabilidad de los textiles.

La Tabla 2 muestra algunos tratamientos ignifugos y procedimientos específicos de aplicación.

EVALUACIÓN NORMALIZADA DE LA DURACIÓN DEL EFECTO DE IGNIFUGACIÓN EN CONDICIONES DE CONSERVACIÓN Y USO

Cualidad del ignifugado frente a tratamientos de conservación y uso

Las acciones de conservación y uso de un material textil ignifugado pueden conducir a una disminución o pérdida del efecto ignifugo debido, entre otras, a las siguientes causas:

- Eliminación o arrastre de parte del componente retardante a la llama por acción química o física.
- Deposición de productos inflamables.
- Conducción del ignifugante a un estado de inactividad por la acción de materiales depositados sobre el tejido y que actúan sobre el propio ignifugante.
- La alteración de las características iniciales del sustrato textil condicionantes del comportamiento al fuego.

Las operaciones básicas de envejecimiento acelerado consideradas han sido: lavado, secado, vaporizado, acción mecánica, acción de la intemperie, acción del choque y roce multidireccional.

Los factores que influyen en la inflamabilidad de las fibras son fundamentalmente tres: la naturaleza de la fibra, las características externas y estructura del tejido y la acción ignifugante conferida mediante procesos de ignifugado.

La Tabla 3 recoge los factores determinantes de la pérdida del carácter ignifugo en condiciones de conservación y de uso, respectivamente.

Ciclo relacional del envejecimiento y comportamiento al fuego de fibras ignifugadas y sin ignifugar a través del mecanismo de reacción al fuego

El ciclo relacional: envejecimiento-comportamiento al fuego queda es-

quematizado en la figura 1. Su tratamiento lo hemos realizado mediante el estudio de la acción de las diferentes operaciones básicas de envejecimiento (conservación y uso) respecto a su acción sobre:

- El tejido.
- El ignifugante.
- El tejido + ignifugante.

Y terminamos el estudio con un análisis de la acción de las operaciones de conservación y uso sobre el esquema de reacción al fuego.

TABLA 2. Tratamientos ignifugos.

Ignifugante	Fibra textil	Tratamiento
Oxidos metálicos	Fibras celulósicas	Los sólidos metálicos insolubles producen efectos más sólidos, pero su insolubilidad hace que su aplicación se realice forzosamente en dos años: en uno se satura el género a tratar con una sal soluble del elemento ignifugo, y en el segundo se trata de un compuesto que reaccione con el anterior, formando el correspondiente óxido que queda precipitado en la fibra. Ejemplo: óxidos de titanio, antimonio, estaño.
Polímeros preparados	Fibras celulósicas	Se depositan sobre la superficie de la fibra y polimerizan o funden para garantizar la durabilidad. Ejemplo: derivados halogenados, como cloruro de vinilo, parafinas cloradas y cauchos clorados.
Monómeros solubles en agua	Fibras celulósicas	Penetran en la fibra y reaccionan, polimerizan o copolimerizan con un monómero adecuado y, en algunos casos, reaccionan con la celulosa. Ejemplo: THPC-amida, THPOH-amida y THPC-amida más organo-halogenados, fijación por amoniaco de los anteriores. Ignifugos basados en N-P. Los grupos metilo del THPC reaccionan fácilmente con numerosas amidas con formación de polímeros altamente insolubles.
Compuestos organo-fosforados	Fibras protéicas (lana)	El THPC ha sido aplicado comercialmente a la lana, junto con urea y un precondensado de melamina formaldehído, dando un acabado permanente.
Complejos de titanio y circonio	Fibras protéicas (lana)	Los más aplicados son el hexafluorocirconato de potasio y el hexafluorotitanato potásico. El segundo es significativamente más efectivo que el primero. Sin embargo, el tratamiento con el titanato amarillea la fibra, efecto que se incrementa con la exposición a la luz. La adición de ácido tetrabromoftálico incrementa por efecto sinérgico la acción ignifuga de los complejos de circonio y titanio.
Aditivos de acabado ignifugo (Compuestos de fósforo y/o halogenados)	Poliéster	Un aditivo empleado en el acabado ignifugo de tejidos es el 2-(2, 4, 6-tribromo-fenoxi) fenol. El aditivo es depositado sobre la fibra, difundiendo al interior de ésta, donde es insolubilizado por enlaces, injerto o polimerización. La adición de Sb ₂ O ₃ incrementa el efecto ignifugo en el polímero. Se emplean también aditivos conteniendo fósforo, en este caso se observa un efecto antagónico del antimonio con aditivos, conteniendo bromo y fósforo. La relación de efectividad en poliéster de fósforo y bromo es de 7:1.
Aditivos de acabado ignifugo	Poliamida	Fosfatos, fostanatos, óxidos de fósforo, con o sin compuestos halogenados, y derivados halogenados, con o sin compuestos metálicos, se utilizan en análogo tratamiento al del poliéster. En el acabado de tejidos los tratamientos con tiourea y sus productos de condensación con formaldehído o urea, melamina y sus derivados melilolados son de especial interés.

TABLA 3. Factores determinantes de la pérdida del carácter ignífugo en condiciones de uso

Operación	Condiciones de la operación	Factores determinantes de la pérdida del carácter ignífugo	Tejidos sometidos a dicha operación
Acción de la intemperie.	Uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Acción de la luz solar (las radiaciones ultravioletas ejercen una influencia negativa). • Variaciones climáticas (temperatura y humedad relativa). • Microorganismos (sólo en los casos de toldos y tiendas de campaña). 	En mayor medida: <ul style="list-style-type: none"> - Toldos y liendas de campaña. En menor medida: <ul style="list-style-type: none"> - Ropa de trabajo, pijamas para niños, telas para uniformes, ropa de cama para hospitales, hoteles, etc.
Deposición de productos inflamables.	Uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Grasas de todo tipo. • Ceras. 	Especialmente: <ul style="list-style-type: none"> - Prendas de trabajo. - Filtros de campanas de extracción.
Uso en alfombras tipo moqueta.	Uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Choque. • Roce. • Pisada. 	Alfombras tipo moqueta.
Uso en revestimientos textiles diferentes a los del tipo moqueta.	Uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Choque. • Roce. • Pisada. 	Tapicería normal, esteras, fieltros punzonados, etc.

Las propiedades de comportamiento al fuego de textiles ignífugados no sólo dependen de la composición del textil, del ignífugante y del proceso de ignifugación sino también de los aspectos de hilatura, tejeduría, apresto, acabado, tintura, etc.

Acción de las operaciones básicas de envejecimiento respecto al comportamiento al fuego en sus efectos sobre el tejido

La acción del envejecimiento sobre el sustrato textil puede influir a través de:

- Las variables de construcción del tejido.
- La preparación del textil.
- Los acabados del textil. La tintura y estampación.

Acción de las operaciones básicas de envejecimiento respecto al comportamiento al fuego en sus efectos sobre el ignífugante

Se han analizado los efectos de las operaciones básicas de envejecimiento en el ignífugante según interengan en: el diseño de polímeros, la modificación de un polímero conocido o mediante la incorporación como aditivo a fibras convencionales. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Acción de las operaciones de conservación y uso sobre el esquema de reacción al fuego

Se analizan los efectos del envejecimiento en los puntos característicos de la acción ignífugante sobre el esquema de reacción al fuego: A, B, C, D y E. Los resultados se recogen en la Tabla 5.



La muestra es sometida a radiación en el interior del epirradiator.

TABLA 4.

Operaciones básicas conservación/ uso	Factores determinantes de la pérdida del carácter ignífugo	Efectos negativos de las operaciones básicas en el tipo de ignífugo		
		<i>Diseño de polímero (fibra resistente a la llama y al calor)</i>	<i>Modificación de polímero conocido (fibra resistente a la llama)</i>	<i>Incorporación de aditivos a fibras convencionales</i>
Lavado en agua.	Agua, temperatura de lavado, secado, planchado o vaporizado, detergente y jabones, acción de centrifugado, adición de lejía, agua dura.	No varía. Se trata de fibras sintéticas que por su estructura química, sin adición de agentes ignífugos, presentan una clasificación de reacción al fuego invariable a pesar del efecto de este envejecimiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo cuando éste se ha adicionado en masa (esta posibilidad siempre será inferior que en el caso de fibras convencionales). - En caso de incorporación de monómeros y comonómeros ignífugos en su estructura química no varía significativamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo en el lavado. - El agua dura conduce a ciertos ignífugos a un estado químicamente inactivo.
Lavado con disolvente.	Disolvente (perclorobelileno) secado, planchado, temperatura.			<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo en el lavado con disolvente.
Lavado con cepillado.	Agua o espuma, detergente, pasadas a cepillo, secado.			<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación o arrastre de parte del producto ignífugo por el lavado y la acción mecánica correspondiente.
Barrido y aspirado.	Barrido, aspirado, cepillado, espuma.	No varía. Se trata de fibras sintéticas que por su estructura química, sin adición de agentes ignífugos, presentan una clasificación de reacción al fuego invariable a pesar del efecto de este envejecimiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación o arrastre de parte del producto ignífugo cuando éste se ha adicionado en masa (esta eliminación siempre será inferior que en el caso de fibras convencionales). - En caso de incorporación de monómeros y comonómeros ignífugos en su estructura química no varía significativamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación o arrastre de parte del producto ignífugo.
Cambio de las condiciones ambientales	Variación de temperatura y humedad relativa, acción de la luz solar, microorganismos.			<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo debido al efecto acumulado de las radiaciones solares o variaciones ambientales.
Deposición de productos inflamables.	Grasas de todo tipo, ceras, etc.	No elimina ni arrastra parte del ignífugo, pero minimiza su función al estar junto al componente retardante a la llama una materia inflamable.	Minimiza la función del ignífugo al estar junto al componente retardante a la llama una materia inflamable.	Minimiza la acción del ignífugo.
Choque, pisada.	Choque, roce, pisada.	No varía.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo cuando éste se ha adicionado en masa. - En caso de incorporación de monómeros y comonómeros ignífugos en su estructura química no varía significativamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de parte del producto ignífugo.

TABLA 5. Esquema de reacción al fuego.

Acción de los productos ignifugos inicialmente	Variaciones que se producen debido a las operaciones de conservación y uso	
	Por cambios en el tejido	Por cambios en el ignifugo
A Aumento de la temperatura de pirólisis. Hacen al material más estable térmicamente (mayor fuerza intermolecular, rigidez de las cadenas poliméricas, porcentaje zona cristalina y uniformidad en la descomposición de enlaces).	Nada, excepto que se degrade la estructura química de la fibra debido a acciones energéticas de lejías, percloroetileno, etc.	Ninguno, pues la ignifugación es la propia estructura química de la fibra.
B Facilitar la formación de carbón, orientando la descomposición del material hacia productos no inflamables (mediante deshidratación y reticulación).	Acciones como las de lejías, temperatura, humedad relativa baja van a producir una deshidratación de la fibra, lo cual produce una mayor formación de carbón.	Eliminación de parte del ignifugo adicionado (principalmente compuestos de fósforo), lo cual atenuará su acción en la formación de carbón y porcentaje de gases no inflamables.
C Recubrimiento impermeable al aire y absorción de parte de la energía radiante.	La degradación en la fibra y el artículo (irregularidad de fibra, menos tupidez y peso por m ²) va a producir una mayor relación aire-sólido y, por tanto, aumentará la penetración del oxígeno, lo cual es negativo.	Eliminación de parte del ignifugo adicionado (sales metálicas), lo cual atenuará su función positiva de crear una masa impermeable al aire y de absorber una parte de la energía radiante.
D Alteración de la combustión, aumentando la temperatura a la que ocurre o interfiriendo en la misma para que el porcentaje de gases consumidos en la llama disminuya.	No hay.	Eliminación de parte del ignifugo adicionado (compuestos halógenos principalmente), lo cual atenuará la formación de radicales libres, que combinándose con el oxígeno del aire, hacen que no sea apta la oxidación de los gases generados.
E Eliminación de parte del calor mediante absorción o difusión del mismo, y de esta manera no llevar al estado de combustión a la unidad de masa adyacente.	No hay.	Pérdida de parte del ignifugo adicionado (compuestos metálicos principalmente, que son los que realizan su difusión), evitando la concentración en un punto.

Nota: La degradación del propio artículo hace que el ignifugo que sea adicionado se elimine más fácilmente.

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN ORIGINADOS EN PRODUCTOS IGNIFUGADOS Y NO IGNIFUGADOS

El estudio y análisis de los gases de combustión originados en productos ignifugados y no ignifugados se ha abordado desde el punto de vista de la utilización de ignifugantes que reduzcan la emisión de humos y gases tóxicos.

La acción del ignifugante, en este caso, ha de estar orientada sobre el mecanismo de combustión para que ésta sea lo más completa posible o

para aumentar el residuo carbonizado por:

- Aumento de la cantidad de oxígeno en el polímero (se utilizan complejos metálicos a base de Co, Cu o Fe, que favorecen el carácter oxidativo de las reacciones).
- Favorecer las reacciones secundarias de degradación que provocarían menor emisión de humos (fluoroboratos).
- Aumento de la cantidad de residuo carbonoso (catalizadores de deshidratación).
- Favorecer una oxidación eficaz y completa (uso de compuestos de metales de transición).

CONCLUSIONES

Para finalizar recordaremos algunos principios básicos concernientes a la ignifugación, sus efectos y la pérdida de sus propiedades, que podrían quedar disimulados entre las relaciones específicas objeto principal del estudio:

- Las propiedades de comportamiento al fuego de textiles ignifugados no sólo dependen de la composición del textil, del ignifugante y del proceso de ignifugación, sino también de los aspectos de hilatura, tejeduría, apresto, acabado, tintura, etc. Por ello, la pérdida de propiedades causada por el envejecimiento y uso no dependerá exclusivamente de la degradación del ignifugante, sino también de la modificación del resto de variables. No debe olvidarse, por tanto, que también los textiles no ignifugados ven modificadas sus propiedades de comportamiento a causa del envejecimiento y, sobre todo, del uso.

- Si no se tiene en cuenta el posible efecto generador de humos o gases potencialmente tóxicos de los procesos de ignifugación, puede darse la paradoja de que un mejor comportamiento lleve aparejado un mayor riesgo potencial en determinadas situaciones.

BIBLIOGRAFÍA

W. WITKE (1988): *Coating*, 21 (9), 340.
 D. D. KALE y N. B. BOPARDIKAR (1988): *J. Tex. Res.*, 13 (3), 146.
 I. M. FOUDA, M. M. EL-TONSY y A. H. ORABY (1989): *J. Mat. Sci. Lett.*, 8 (1), 112.
 ELI M. PEARCE (1990): *Flame Retard Polym. Mater.*, 36, 40.
 F. A. WILLIAMS (1991): *Proc. ASME-JSME Therm. Eng. Jt. Con.* XV-XVI, 5.
 J. DUGASZ y A. SZASZ (1991): *J. Coated Fabr.*, 21 J1, 32.
 C. D. CLINE y J. D. FRIDDLE (1991): *J. Coated Fabr.*, 21 J1, 32.
 M. A. KHATTAB, S. H. KANDIL y A. M. GAD (1992): *Fire Mater.*, 16 (1), 23.
 REAGOR BARBARA (1992): *T. J. Fire Sci.*, 10 (2), 169.
 R. W. JAISWALL (1992): *Text. Dyer Printer*, 25 (2), 23.
 D. L. ROBERTS, M. E. HALL y A. R. HORROCKS (1992): *Rev. Prog. Color Relat. Top.*, 22, 48.
 SEN'I (1992): *Gakkaishi*, 48 (9), 473.
 B. J. J. ENGBERS y G. DIERKES (1992): *Text. Prax. Int.*, 47 (2), 557.
 DAMANT y GORDON H. NURBAKHSH (1992): *Said, Flame Retard '92. Proc. Flame Retard '92. Conf.* 5 th, London, U.K., 252, 77.
 J. BRENDA, B. A. ANDREWS y E. A. CATALANO (1993): *J. Appl. Polym. Sci.*, 48 (8), 1.475.