

Influencia del producto ignífugo y su aplicación en el comportamiento al fuego en mezclas de fibras textiles (*)



ALICIA LARENA PELLEJERO
Catedrática de Ingeniería Química

PABLO HERNÁNDEZ TAPIA
Ingeniero técnico industrial.

*Dpto. de Ingeniería Química Industrial. E.T.S. de Ingenieros Industriales.
Universidad Politécnica de Madrid*

SUMARIO

Este trabajo nace de la motivación por el problema de seguridad y riesgo que el comportamiento al fuego de materias textiles genera tanto en viviendas familiares como en locales y establecimientos de uso público. Se ha realizado impulsados por el deseo de contribuir a la prevención y reducción de las consecuencias de accidentes en las personas y medios materiales a causa del fuego. Se analiza la actuación e influencia del producto ignífugo y su aplicación en el comportamiento al fuego de fibras y mezclas textiles, bajo el esquema básico de las etapas de acción del calor sobre el material textil y el significado de la acción ignífuga del producto ignífugo dentro del mecanismo general de la acción del calor.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento al fuego de los materiales es un punto de partida básico para la prevención y reducción de accidentes humanos y pérdidas materiales como consecuencia de incendios.

Es cada vez mayor la utilización de materias textiles en situaciones de riesgo de incendio en viviendas, en edificios públicos de fuerte concurrencia y en centros singulares, así como para protección personal contra el calor o el fuego.

Por otra parte, el ritmo de vida ac-

Palabras clave: Seguridad, materias textiles, ignifugación, comportamiento al fuego.

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE, como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 1993, a raíz de una beca concedida en su convocatoria 1992-1993 sobre "Influencia del producto ignífugo y su aplicación en el comportamiento al fuego en mezclas de fibras textiles".

tual aumenta las situaciones de riesgo y la competitividad en la oferta, y el creciente nivel de vida aumenta el grado de exigencia en cuanto a demandas de seguridad, calidad y fiabilidad al uso de las materias textiles.

Por todo ello, el comportamiento de materias textiles en su reacción al fuego ha de basarse en criterios de análisis:

- Físico-químico de su reacción al fuego.
- De tratamientos que alteren su reacción al fuego.
- De la normativa de aplicación en cuanto al comportamiento al fuego.

El objetivo de este trabajo es a partir de las características de fibras textiles naturales y sintéticas de uso habitual y de las mezclas de fibras de mayor uso, establecer interdependencias y predictores de comportamientos y respuesta al fuego como punto de partida para el estudio de la influencia del producto ignífugo y su aplicación en el comportamiento al fuego en mezclas de fibras textiles, teniendo siempre la mirada puesta en el necesario tratamiento de la respuesta al fuego de materias textiles ignifugadas en función del tiempo en condiciones habituales de uso.

Para ello, nos basamos en las etapas de acción del calor y factores térmicos en su aplicación a fibras textiles, en el mecanismo de la acción del calor y de la acción ignífuga en las diferentes etapas de reacción al fuego de las materias textiles.

OBJETIVOS

De lo anteriormente expuesto surge la necesidad de establecer predictores del carácter ignífugo de fibras y mezclas de fibras textiles y factores intervinientes condicionantes del comportamiento al fuego, así como la necesidad de analizar los factores condicionantes para la evaluación de tratamientos ignífugos en mezclas de fibras, con el propósito de conseguir:

- El conocimiento que se precisa, y no se conoce hasta la fecha, del comportamiento de las mezclas de fibras textiles al fuego a partir del análisis del comportamiento al fuego de las fibras naturales y sintéticas de uso habitual.
- Los datos básicos del comportamiento de los tratamientos ignífugos que permita predecir el efecto de las propiedades de ignifugación que confieren al textil.

El criterio que preside este trabajo es abrir un camino hacia el conocimiento del comportamiento posterior de los artículos textiles con tratamiento ignífugo después de estar sometidos a las condiciones de uso habitual. El efecto directo inmediato de los ignífugos se puede conocer mediante los ensayos de reacción al fuego de clasificación, pero falta una sistemática y normativa al respecto para hacer un seguimiento del comportamiento al fuego por envejecimiento acelerado del textil, promoviendo condiciones de alteración al uso.

METODOLOGÍA

La metodología seguida se acoge al sistema inductivo, que va del conocimiento de lo individual al establecimiento de lo general y su posterior validación y comprobación experimental, haciendo uso del método deductivo para efectuar pruebas formalmente válidas.

El esquema de trabajo consiste en:

- Analizar las características de fibras naturales y sintéticas de uso habitual, en cuanto a su comportamiento al fuego, y de las características de mezclas de fibras de mayor uso; interdependencia de su naturaleza y composición y su respuesta al fuego, y predicción de comportamientos según las diferentes etapas de acción del calor sobre el material textil.
- Estudiar los productos ignífugos y procesos de aplicación en fibras y mezclas de uso generalizado, en cuanto a analizar sus efectos a partir de sus mecanismos de actuación en las diferentes etapas de acción del calor sobre el material textil.

La verificación de comportamientos y validación de resultados cerrará el ciclo y abrirá nuevos caminos en el objetivo último de mejorar las condiciones de seguridad, en cuanto al comportamiento al fuego de las materias textiles.

FIBRAS NATURALES Y SINTÉTICAS Y MEZCLAS DE FIBRAS

El comportamiento al fuego de las fibras naturales y sintéticas viene de-

El comportamiento al fuego de las fibras naturales y sintéticas viene determinado por factores térmicos y estructurales, pudiendo establecerse una predicción de sus comportamientos en función de varios parámetros.



terminado por factores térmicos y estructurales, pudiendo establecerse una predicción de comportamientos en función de los siguientes parámetros:

- Composición.
- Carácter lineal o reticular de las macromoléculas poliméricas.
- Grado de cristalinidad.
- Tasas de humedad.
- Acabados, tratamientos y aditivos.
- Características del tejido.
- Capacidad calorífica
- Conductividad térmica.
- Energías de enlace.
- Calores latentes de fusión, vaporización u otros cambios.
- Temperatura de inflamación.
- Temperatura de autoinflamación.
- Potencia calorífica.
- Concentración límite de oxígeno (L.O.I.).

La Tabla 1 recoge algunos predictores del carácter ignífugo de las fibras.

Los factores térmicos muestran su influencia en el comportamiento al fuego en la figura 1 que recoge las etapas de acción del calor sobre un material textil (polimérico) en combinación con los factores térmicos del material.

En los tejidos constituidos por mezclas, las distintas fibras que lo conforman van a estar íntimamente unidas, por lo que se alcanza en un tiempo menor la temperatura a la que tiene lugar la combustión de la fibra

más ignífuga, como consecuencia del calor de combustión liberado por la fibra menos ignífuga.

Por tanto, las propiedades ignífugas de las mezclas tenderán a semejarse a las de las fibras menos ignífugas, teniendo, en todo caso, un peso importante en los comportamientos los porcentajes de composición.

A partir de los predictores del comportamiento de las fibras se puede predecir el comportamiento de mezclas, siempre sujetos a la composición porcentual de la muestra. Un ejemplo de su aplicación lo tenemos a continuación para mezclas lana/poliamida:

Características ignífugas favorables de la lana frente a la poliamida:

- Composición — La lana posee un alto porcentaje en nitrógeno, que la hace más ignífuga.
- Carácter reticular — Frente al carácter lineal de la poliamida.
- Tasa de humedad — 18,25-17 por 100 de la lana frente al 6,25 por 100 de la poliamida.
- Acabados — Los acabados recibidos globalmente por la lana le van a dar un mayor poder ignífugo que los que recibe la poliamida.
- L.O.I. — 25 por 100 en la lana frente al 20-21,5 por 100 en la poliamida.

Características ignífugas favorables de la poliamida frente a la lana:

- Cristalinidad — La poliamida es una fibra cristalina frente a la lana,

que sólo posee un 25 por 100 de cristalinidad.

— Relación aire-sólido — Es menor en la poliamida por tratarse de una fibra mucho más regular.

Una vez alcanzada la temperatura de combustión de la fibra menos ignífuga, el calor liberado en su proceso de combustión hace que se alcance más rápidamente la temperatura de combustión de la fibra más ignífuga.

En el caso de una mezcla lana/poliamida (nylon 6 o nylon 6,6) se alcanza antes la temperatura de combustión del nylon, y su calor de combustión hace que la combustión de la lana se produzca antes de que si solo fuese lana sin mezcla.

Con generalización pueden hacerse las siguientes predicciones de inflamabilidad:

- Poliéster/acrílicas - Debida a la fibra acrílica.
- Poliéster/algodón - Debida al algodón
- Poliamida/acrílica - Debida a la fibra acrílica.
- Poliéster/lana - Debida al poliéster.

La Tabla 2 recoge las características ignífugas favorables de una fibra respecto a otra en mezclas binarias.

Factores condicionantes de las predicciones en mezclas son:

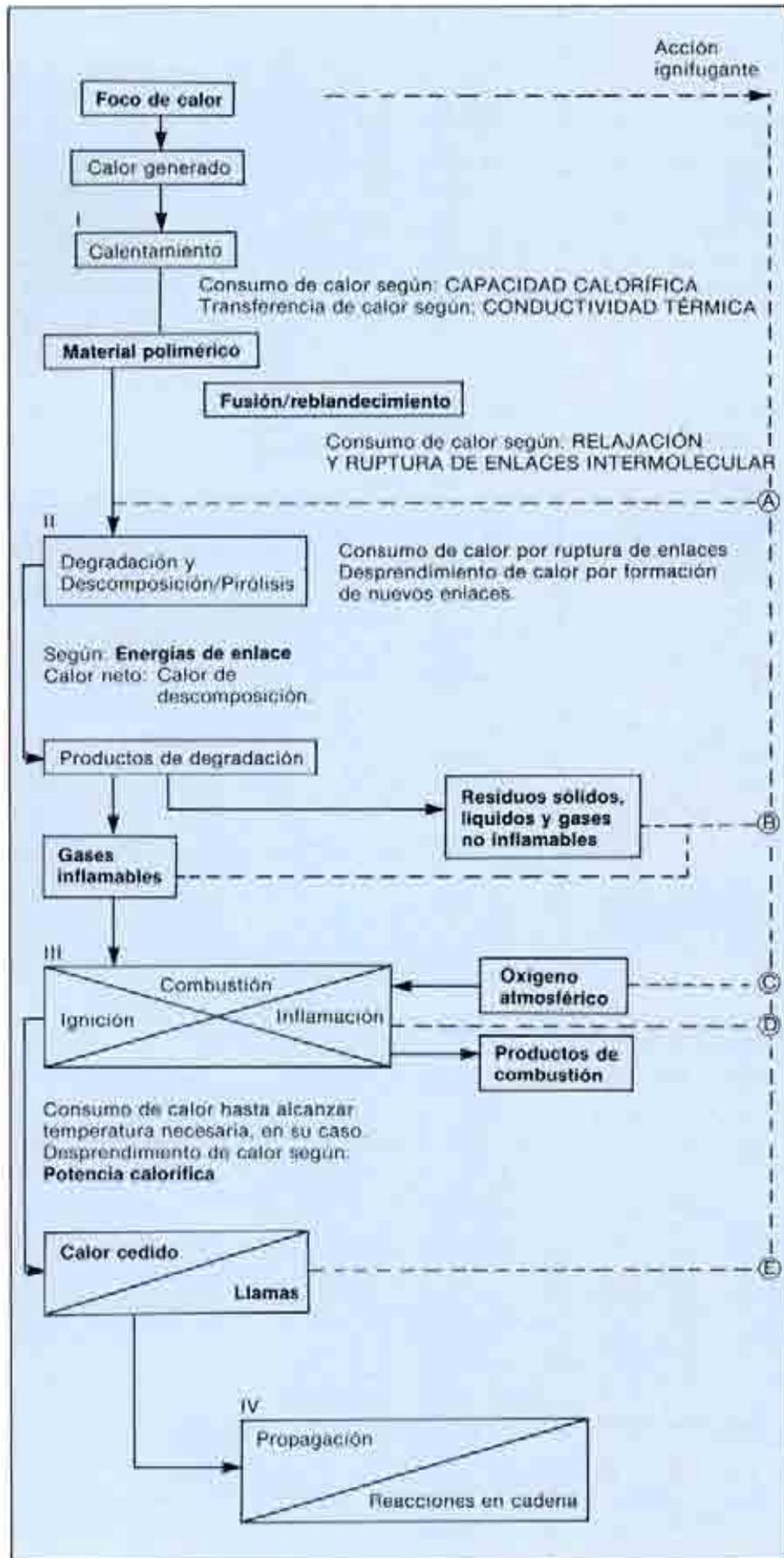
- Porcentaje de mezcla.
- Tipo de mezclado.
- Tipos de acabado.

TABLA 1. Predictores del carácter ignífugo

Predicor	Poder ignífugo previsible
Composición	Alta proporción de nitrógeno: Mayor poder ignífugo
Estructura lineal o reticular	Mayor reticulación: Mayor poder ignífugo
Grado de cristalinidad	Mayor grado: Mayor poder ignífugo
Tasa de humedad	Mayor tasa: Mayor poder ignífugo
Acabados	Balanado: Mayor poder ignífugo Perchado: Menor poder ignífugo Tundido: Mayor poder ignífugo (más regulación) Menor poder ignífugo (menor tupidez) Prensado: Mayor poder ignífugo Mercerizado: Mayor poder ignífugo Acabado inarrugable: Mayor poder ignífugo Termofijado: Mayor poder ignífugo Acabado impermeable: Menor poder ignífugo Acabado hidrófugo: Menor poder ignífugo
Relación aire-sólido	Estructura y disposición de la fibra que posibilita menor relación aire-oxígeno: Mayor poder ignífugo.
Tupidez	Mayor tupidez: Mayor poder ignífugo
Ligamento (Coeficientes de ligadura)	Tejido más ligado: Mayor poder ignífugo.

El tratamiento ignífugo tiene por objeto disminuir la acción nociva que el fuego tiene sobre los géneros textiles.

FIGURA 1. Etapas de acción del calor, factores térmicos y ubicación de las líneas de acción del producto ignífugo sobre el esquema de reacción al fuego para materias textiles.



ACTIVIDAD DEL PRODUCTO IGNÍFUGO EN FIBRAS Y MATERIAS TEXTILES

El acabado o tratamiento ignífugo tiene por objeto disminuir la acción nociva que el fuego tiene sobre los géneros textiles.

La idoneidad del producto ignífugo a utilizar en fibras textiles, tejidos y mezclas viene determinada por los efectos de la acción ignífuga (líneas de acción ignífuga dentro del esquema térmico de reacción al fuego aplicado a materiales textiles que representa la figura 1).

Los mecanismos de actuación de los productos ignífugos se esquematizan en la Tabla 3, y por tipo de ignífugo, en la Tabla 4.

Los mecanismos de actuación de los ignífugos vienen marcados por las líneas de acción ignífuga (Fig 1):

- (A) Aumento de la temperatura de pirólisis. Hacen al material más estable térmicamente (acción química-fase sólida).
- (B) Disminución de porcentaje de gases inflamables. Hacen al material menos inflamable. Forma residuo carbonoso (acción química, física-fase sólida).
- (C) Recubrimientos impermeables al aire (acción física-fase sólida).
- (D) Alteración de la combustión. Disminuye la cantidad de calor generada (acción química-fase gaseosa).
- (E) Eliminación de calor. Mantiene el textil por debajo de su temperatura de descomposición (acción física-fase sólida).

El efecto ignífugo conseguido para un mismo sustrato textil depende de la naturaleza del producto ignífugo y del proceso de aplicación.

De una parte, contamos con distintas opciones para la impartición del producto ignífugo:

1. En la fase de obtención del polímero o de la fibra
 - 1.1. Durante o inmediatamente después del proceso de polimerización – Fibras químicamente modificadas.
 - 1.2. En el fundido, inmediatamente antes de proceder a la hilatura o extrusión.
2. En el tejido ya formado (tratamientos de acabado).
3. En el producto acabado.

Y en cuanto al tratamiento ignífugo propiamente dicho, los parámetros que definen comportamientos

TABLA 2. Características ignifugas favorables de una fibra respecto a otra en mezclas binarias

Mezclas		
Poliéster / Lana	Cristalinidad Mayor regularidad, menor relación aire-sólido	Composición Carácter reticular Tasa de humedad LOI Mayor temperatura de combustión
Poliéster / Lino o algodón	Composición Cristalinidad Mayor regularidad menor relación aire-sólido LOI Mayor temperatura de combustión	Tasa de humedad
Lana / Poliamida	Composición Carácter reticular Tasa de humedad LOI Mayor temperatura de combustión	Cristalinidad Mayor regularidad menor relación aire-sólido
Poliamida / Acrílica	Tasa de humedad LOI Mayor temperatura de combustión	
Poliéster / Acrílica	Composición LOI Mayor temperatura de combustión	Tasa de humedad
Lana / Acrílica	Composición Carácter reticular Tasa de humedad LOI Mayor temperatura de combustión	

Los ignifugos de acción física son productos inorgánicos que deben ser aplicados al material polimérico en cantidades apreciables para que su actuación sea efectiva.

distintos para un mismo sustrato textil y un mismo agente ignifugante son los siguientes:

- Proporción de componentes del sistema ignifugante, concentración, disolventes.
- Reacción química propiamente dicha.
- Tiempo y temperatura de curado.

— Retención del producto químico seco.

Para completar las condiciones de oportunidad en la elección del ignifugo y de la fase del tratamiento, deben tenerse en cuenta la presencia de efectos sinérgicos por combinación de dos productos de efectos ignifugos. En la Tabla 5 se muestran algunos efectos combinados y sinérgicos en el poder ignifugante.

TABLA 3. Mecanismos de acción de los productos ignifugos

DE ACCIÓN QUÍMICA:	El proceso de pirólisis varía, se altera la temperatura a que acontece: A) aumento de la temperatura, B) disminución de la temperatura y reducción de los porcentajes de gases inflamables, favoreciéndose la formación de residuo carbonoso, dióxido de carbono y agua. Actúa más como un reactivo con el sustrato polimérico que como un catalizador. Mecanismos de actuación: 1) deshidratación, y 2) formación de enlaces transversales, reticulación.
I. En fase sólida	
II. En fase gaseosa	El proceso de pirólisis es el mismo con o sin ignifugo, pero la forma de combustión varía. El porcentaje de gases consumidos en la llama, y en consecuencia la cantidad de calor generada, disminuyen con el agente ignifugo. La pirólisis se ralentiza o detiene. Su actuación es independiente de la estructura del sustrato polimérico, interfiere las reacciones de combustión.
DE ACCIÓN FÍSICA	Los ignifugos de acción física son generalmente productos inorgánicos que deben ser aplicados al material polimérico en cantidades apreciables para que su actuación sea efectiva. Mecanismos de actuación: 1) dilución de la parte orgánica de la estructura del material, dividiéndola en dominios aislados y regiones amorfas; 2) descomposición endotérmica del ignifugo, con desprendimiento de agua, y 3) recubrimiento y asilamiento del polímero. Un ignifugo puede presentar actividad física y química.

VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTOS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Se han verificado comportamientos para muestras de moqueta de lana ignifugadas y sin ignifugar, siguiendo un procedimiento de operación basado en la norma UNE-40-307-75, en las siguientes condiciones de operación:

- Tamaño de probeta: total, 140 × 95 mm; útil, 120 × 80 mm.
- Inclinación de la probeta: 45°.
- Altura de la llama: 45 mm.
- Distancia de la llama a la probeta: 5 mm.
- Diámetro del quemador: 9 mm.
- Posición del quemador: 90°.
- No se utilizó estopa.
- Los resultados obtenidos en valores medios para las probetas ensayadas de una misma muestra son:

Se evaluaron también el porcentaje de superficie destruida, el tiempo de post-combustión y características de propagación de la llama en su geometría de avance por el haz y el envés.

Los resultados obtenidos permiten una validación de los mismos respecto a los predecibles en función de las características de la muestra, del ignifugante y grado de ignifugado.

El efecto ignífugo conseguido para un mismo sustrato textil depende de la naturaleza del producto ignífugo y del proceso de su aplicación.

TABLA 4. Tipo de ignífugo - mecanismo de actuación en fibras textiles

Tipo de ignífugo	Mecanismo de actuación (*) acción ignífugante
Compuestos halogenados (I, Br, Cl, F).	— D. — Fase gaseosa. — Mecanismo de acción química.
Óxidos metálicos (óxido de titanio, óxido de cinc, etc.).	— E y C — Fase sólida. — Mecanismo de acción física.
Órgano - fosforados Cloruro de tetrakis (hidroximetil fosfonio).	— B. — Fase sólida. — Mecanismo de acción química y física.
Macromoléculas lineales a base de agrupaciones aromáticas unidas entre sí por grupos amidas (poliamidas aromáticas), de las que un mínimo del 85 por 100 están unidas a dos anillos aromáticos.	— A. — Fase sólida. — Mecanismo de acción química.

(*) Según líneas de acción ignífugante.

Muestras	Velocidad de propagación de la llama (mm/seg)	Observación
-40/040/01	0,627	No ignífugada
-40/040/02	0,446	Ignífugada
-40/041/01	0,505	No ignífugada
-40/041/02	0,395	Ignífugada

(*) Ignífugante: SPOT-K4.

Los valores en algunas muestras para superficie destruida y tiempo de post-combustión apoyan la predicción de la incidencia del envejecimiento del material textil ignífugado en función de su uso.

NUEVAS FRONTERAS

Nuevas fronteras para una mayor seguridad al uso de tratamientos ignífugos de materias textiles son:

- Optimización sistemática de factores condicionantes del comportamiento al fuego, en cuanto al sustrato textil (características del propio tejido) y en cuanto al propio ignífugado (ignífugo y proceso de ignífugado).
- Evaluación normalizada de la duración del efecto de ignífugación en una materia textil en condiciones de uso.

BIBLIOGRAFÍA

GACÉN GUILLÉN, J.: *Fibras textiles*, Universidad Politécnica de Cataluña, 1991.
 —: *Fibras de poliéster*, E.T.S.I.I. Tarrasa, 1984.
 —: *Fibras de poliamida*, E.T.S.I.I. Tarrasa, 1986.

TABLA 5. Efectos combinados y sinérgicos en el poder ignífugante

Productos en combinación	Efectos sobre el poder ignífugante
FÓSFORO/NITRÓGENO.	Se obtiene un efecto ignífugo superior al resultante de la aplicación única de los compuestos de fósforo. El efecto de una combinación de compuestos de fósforo y de nitrógeno es más pronunciado para compuestos de fósforo orgánico que minerales. Acción: en fibras celulósicas. Mecanismos: 1) hinchamiento de las fibras e incremento de la accesibilidad de los reactivos fosforados; y 2) formación de uniones N-P más reactivas con la fibra que P-O.
HALÓGENO/ANTIMONIO.	El efecto ignífugo de compuestos que contienen cloro o bromo es fuertemente reforzado con la adición de óxido de antimonio que por sí solo no presenta actividad ignífuga. La relación molar que presenta efectos óptimos es Sb/Halógeno 1/3. Acción: en fibras celulósicas y poliéster. Mecanismo de actuación: reacciones secundarias de formación SbOCl que actúa en la fase sólida, favoreciendo las reacciones de carbonización y en la fase gaseosa como captador de radicales.
FÓSFORO/HALÓGENO.	Dan efecto sinérgico propiamente dicho: obtención de un efecto ignífugo superior a la suma de los efectos resultantes de la aplicación de ambos productos ignífugos (de fósforo y halógeno) aplicados individualmente. Acción: en fibras sintéticas. Mecanismo: la presencia de fósforo activa la formación de carbón y de tribromuro y pentabromuros de fósforo, que son más fácilmente gasificables que el halógeno de hidrógeno e incrementan la eficacia de la acción en fase gaseosa.

—: *Fibras químicas*, Universidad Politécnica de Cataluña, 1990.
 —: *Fibras químicas. Polipropileno. Ignífugos. Termorresistentes. Alto módulo*, Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, España, 1990.

—: *Fibras acrílicas*, Ed. Dpto. Publicaciones UPC-ETSIT, Tarrasa, 1987.
 —: *Fibras textiles. Propiedades y descripción*, Curso Básico - A.E.Q.C.T., Univ. Politècnica Catalunya, Tarrasa, 1991.



- DETRELL CASELLAS, J.: «Ignifugación de materias textiles», E.T.S.I.I. Tarrasa, 1987.
- : *Ensayos de comportamiento a los fluidos de las estructuras textiles laminares*, Ed. Servicio de Publicaciones de E.T.S.E.I.T. Tarrasa, 1983.
- MARTÍNEZ DE LAS MAÑAS, P.: *Química y física de las fibras textiles*, Ed. Alhambra, 1976.
- INSTITUTO NACIONAL DEL CONSUMO: *ABC del textil*, Ed. Instituto Nacional del Consumo, España, 1980.
- Identificación de fibras textiles*, The Textile Institute, Manchester, England, Ed. Blume, España, 1968.
- HÖLLEN, NORMA y ANNAL, SADDLER: *Introducción a los textiles*, Landford, Ed. Limusa, España, 1987.
- NOZET, HENRY: *Textiles chimiques. Fibras modernas*, Editions Eyrolles, Francia, 1976.
- SOCARO, ALESSANDRO: *Studio Microscopico e Chimico pel riconoscimento delle Fibre vegetale-lanepelipellucchie-natmalisoti artificiali*, Ed. Ulrico Hoepli, Italia, 1974.
- ASTM STANDARDS: *Part 10. Textiles, Soap, Sorptive Materials, Halogenated Organic Solvents, Industrial water, Atmospheric, Analysis, Wax Polishes*, American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1962.
- ARMFIELD, W. y COLS.: *Identification of Textile Materials*, Ed. Textile Institute, Gran Bretaña, 1953.
- HOWARD y NEEDLES, L.: *Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes A Concise Guide*, Ed. Noyes, U.S.A., 1986.
- KULKARNI, S. V. y COLS.: *Textile Dyeing Operations, Chemistry, Equipments Procedures and Environmental Aspects*, Noyes Publications, U. S. A., 1986.
- MONCRIEFF, R. W.: *Fibras artificiales*, Ed. Manuel Marín, España, 1953.
- KROSCSWITZ, JACQUELINE I.: *Polymers: fibers and textiles. A compendium*, Ed. John Wiley & Sons, U.S.A., 1990.
- SERVICIO SOCIAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD DEL TRABAJO: *Industria textil. Estudio tecnológico y análisis riesgo*, Estudio Tecnológico y Análisis de Riesgos, Ed. Ministerio de Trabajo, 1980.
- GOLIERAN ESCOBET, V.: *Tecnología del tejido. Tomo II: Análisis de tejidos y técnicas de su fabricación*, Ed. E.T.S. Ingeniería Textil, Tarrasa, 1961.
- Tinturas y aprestos*, E.U.I.T.I. Béjar, Univ. Salamanca, España, 1991.
- Tecnología de los tejidos de géneros de punto*, E.U.I.T.I. Béjar, Univ. Salamanca, España, 1991.
- GALCERÁN ESCOBET, V.: *Tecnología del Tejido. Tomo I Teoría de los tejidos*, E.T.S. Ing. Industriales, Tarrasa, 1960.
- RÍUS SINTES, I.: *Aprestos y acabados de los géneros de punto*, Ed. Bosch, Barcelona, 1971.
- Colour Measurement Principles and The Textile Industry*, A.A.T.C.C. Technical Center, North Carolina, U.S.A., 1991.
- JOHN, N. W. M.: *Geo textiles*, Ed. Blackie and Sons LTD, New York, U.S.A., 1987.
- PREVOT, V.: *Geographie des Textile. Etude d'un espace économique*, Editorial Masson, París, 1986.
- BETTENS, G.; SOMER, P. y SMIS-SAERT, L.: *L'inflammabilité et l'ignifugation des textiles*, Centexbel, Brussels, 1979.
- Voreux, Procédes d'application des apprests ignifuges/En comportement au feu des textiles*, Institut Textile, de France, Section Nord, Paris, 1979.
- REEVES, W. A.; DRAKE, J. L. y PERKINS, R. M.: *Fire Resistant Textiles Handbook*, Westport, U.S.A., 1974.