

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE REVESTIMIENTO INTERIOR EN CASO DE INCENDIO

MARIA EUGENIA MACIÁ TORREGROSA

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. (CSIC)

ANTONIO ROLANDO AYUSO

Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN:

Los incendios en edificaciones sucedidos en nuestro país en los últimos años con un número de víctimas importante son origen de creciente preocupación social. Entre los efectos que se suelen citar como causa de incendios con víctimas mortales está el comportamiento de los **revestimientos interiores** de los espacios. Esta proliferación de incendios indica la necesidad de una **revisión de la normativa** existente a aplicar en los proyectos para evitar estas situaciones y minimizar daños personales y materiales. Los materiales empleados para revestir superficies interiores, suelos, paredes y techos pueden contribuir, dependiendo de su naturaleza y características, a agravar el peligro de inicio y desarrollo de un incendio. En este estudio se pretende analizar el **comportamiento de diversos materiales de revestimiento interior según distintas composiciones de fachada en el caso de un incendio real** para intentar arrojar luz sobre esta problemática.

ABSTRACT:

Fires in buildings occurred in our country in the last years with an important number of victims are an origin of increasing special consideration. One of the effects that are usually mentioned as reason of fires with mortal victims is the behavior of the **interior coatings** of the spaces. This proliferation of fires indicates the need of a **review of the existing regulation** to apply in the projects to avoid these situations and to minimize physical and material injuries. The materials used to re-dress interior surfaces, floors, walls and roofs can contribute to increase the danger of beginning and development of a fire, depending on their nature and characteristics. This study tries to **analyze the behavior of diverse materials of interior coating according to different compositions of external walls in case of a real fire** to try to shed light on this issues.

1. Introducción. Situación actual y objeto del estudio.

La normativa actual en nuestro país se centra en dos tipos de documentos:

- la Norma Básica de la Edificación “*Condiciones de Protección contra incendios en los Edificios 196*”; y
- la “Decisión de la Comisión de 8 de Febrero de 2000 por la que se aplica la Directiva 89/106/CEE del Consejo en lo que respecta a la clasificación de las propiedades de Reacción al fuego de los productos de construcción (2000/147/CE)”.

La norma básica, en su *Capítulo 3 Comportamiento ante el fuego de los elementos constructivos y materiales*, establece las características que definen el comportamiento ante el fuego de los materiales (art. 13.2), dependiendo del lugar en que se encuentren (art.16, art. 19.2.3). En lo que respecta a la Decisión de la Comisión se establece una clasificación de los productos de construcción en función de las características de reacción al fuego.

El objeto de este estudio consiste en analizar el comportamiento ante el fuego de los materiales de revestimiento interior y su influencia en el inicio y desarrollo del incendio.

Para ello se plantea realizar una clasificación de los revestimientos en función de su combustibilidad, detallando sus funciones y examinando la normativa existente. Se resaltarán los aspectos que permiten que un incendio se pueda propagar con facilidad y se analizará el comportamiento de diversos materiales de revestimiento interior según distintas composiciones de fachada en el caso de un incendio.

2. Funciones y clasificación de los materiales de soporte y revestimiento interior.

Los revestimientos se pueden clasificar de varias formas, según el punto de vista elegido:

- Por su función pueden clasificarse en *acabados* y *soportes de acabados*.
- Por su forma de presentación pueden clasificarse en revestimientos conformados “*in situ*” y revestimientos *prefabricados* o *preconformados*.
- Por su comportamiento frente al fuego, los revestimientos se dividirán, básicamente, en *incombustibles* (materiales que no se pueden quemar o que no sufren merma o desgaste a pesar del tiempo y las dificultades) y *combustibles* (materiales que arden o pueden arder con facilidad).

3. Revestimiento interiores.

Los revestimientos de paredes presentan una peligrosidad adicional debida a la propagación vertical del fuego; sin embargo, los revestimientos de naturaleza combustible empleados en paredes, normalmente presentan poca carga combustible.

3.1. Materiales incombustibles

En este grupo se incluyen los siguientes revestimientos:

- Alicatados
- Enfoscados
- Guarnecidos y enlucidos
- Revocos incombustibles
- Pinturas incombustibles
- Chapados ligeros metálicos

3.2. Materiales combustibles

En este grupo se incluyen los siguientes revestimientos:

- Flexibles
- Papeles pintados
- Micromadera
- Microcorcho
- Plástico flexible
- Ligeros
- Madera
- Placas de corcho y rígidas de PVC
- Pinturas combustibles
- Tejidos
- Placas de cartón-yeso

4. Normativa y reglamentación.

La *reacción al fuego* es la respuesta de un material al fuego medida en términos de su contribución al desarrollo del mismo con su propia combustión, bajo condiciones definidas en ensayo. Respecto a la mejora de la *reacción al fuego*, pueden utilizarse materiales de acabado que, por sí mismos, aportan un buen comportamiento frente al fuego, o productos que se aplican al material de revestimiento para mejorar su reacción al fuego.

La norma UNE 23.727 *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción*, especifica el proceso a seguir para determinar la clasificación de los materiales de construcción.

En términos generales los materiales se clasifican en dos grandes grupos:

1. Materiales incombustibles (MO), son materiales no inflamables, que no dan lugar a llamas ni producen desprendimiento de calor, superior a cierto valor bajo unas determinadas condiciones de ensayo.

2. Materiales combustibles, que se dividen a su vez en dos categorías:

- Materiales no inflamables (M1): materiales que se descomponen en presencia de una fuente de calor, con desprendimiento de calor, pero sin producir llamas ni vapores inflamables.
- Materiales inflamables: difícilmente inflamables (M2) y medianamente inflamables (M3), en los cuales la combustión cesa más o menos rápidamente cuando se aíslan de la fuente de calor e ignición; fácilmente inflamables (M4) y muy fácilmente inflamables (M5) los que arden continuamente hasta la destrucción total.

El sistema de clasificación europea comprende siete Euroclases: A1, A2, B, C, D, E y F.

Las Euroclases A1, A2 y B se corresponden con las clases de productos no combustibles y poco combustibles, y caracterizan los productos de la construcción más seguros en materia de seguridad contra incendio.

Las Euroclases C, D y E corresponden a clases de productos combustibles, y caracterizan los productos de construcción más peligrosos en materia de comportamiento al fuego.

Los productos de la Euroclase F son aquellos que no han sido sometidos a ninguna evaluación de sus características.

Con excepción de las Euroclases A1 y F existen dos clasificaciones relativas a la producción de humos y a la producción de gotas o partículas inflamadas que complementarán las principales Euroclases.

Existirán tres niveles para cada uno de estos parámetros: s1, s2 y s3 para la opacidad de los humos, y los niveles d0, d1 y d2 para las gotas o partículas inflamables. Hay que desta-

car aquí que la clasificación de humos no evalúa el carácter tóxico de los mismos, sino sólo su opacidad.

5. Criterios para la elección del material de soporte y revestimiento interior.

Las restricciones de uso de materiales para revestimiento de interiores tienen por finalidad retrasar el desarrollo inicial de un fuego y limitar la velocidad a la que las llamas puedan propagarse a través de las superficies interiores de un edificio. También intentarán reducir la contribución de material combustible a un incendio y limitar la generación de humos y gases tóxicos.

No se deben utilizar espumas plásticas ni materiales plásticos celulares como revestimientos vistos ya que pueden contribuir fácilmente al inicio y propagación de un incendio, aunque pueden utilizarse como aislantes de relleno, siempre que se instalen confinados en el interior de tabiques dobles, o en marcos de puertas y ventanas cuando no ocupen un porcentaje elevado de la superficie de paredes y techos considerada. Sin embargo, tales materiales confinados, aunque no arden al principio, contribuyen al confinamiento térmico del incendio al reducir la disipación, por lo que influyen en el tiempo necesario para alcanzar el “flashover” y afectan térmicamente a la estructura.

Las pinturas aplicadas en capas delgadas y los papeles pintados cuyo espesor no sea muy importante, cuando se instalan sobre soportes incombustibles, no afectan sustancialmente al comportamiento de dicho soporte durante un incendio. Sin embargo, cuando estos tipos de revestimientos poseen un espesor significativo, pueden contribuir al rápido crecimiento y propagación del incendio.

Los adhesivos a utilizar deberán ser aptos para unir el revestimiento al soporte, serán no tóxicos, imputrescibles e inalterables al agua. Siempre que sea posible se elegirán adhesivos no inflamables o que tengan el agua como disolvente. En general se tenderá a seleccionar materiales incombustibles (MO), no inflamables (M1) o difícilmente inflamables (M2).

En general, las clasificaciones aplicables a suelos son más tolerantes que las aplicables a paredes y a techos, puesto que el fuego afecta mucho más severamente a las paredes y a los techos que a los suelos.

Si el edificio está protegido por un sistema fijo de extinción por rociadores automáticos, puede rebajarse la exigencia, excepto en localizaciones específicas por especial peligrosidad o riesgo en caso de incendio, ya que los rociadores automáticos pueden prevenir la propagación de las llamas a través de la superficie de paredes y suelos.

No deben utilizarse materiales fácil o muy fácilmente inflamables (M4 ni M5). Se podrán emplear materiales M4 cuando no ocupen superficies importantes respecto al total de la superficie del local considerado, como marcos de puertas y ventanas, rodapiés, etc., de madera o plástico.

En el caso de utilizar tratamientos superficiales de ignifugación, éstos deberán renovarse periódicamente y tantas veces como sea necesario para asegurar el mantenimiento de las propiedades y comportamiento frente al fuego del material tratado. Es siempre preferible la utilización de un material menos inflamable que la ignifugación de un material más inflamable.

6. Influencia en el inicio y desarrollo de un incendio.

Cuando un fuego se produce dentro de un edificio, el desarrollo inicial está determinado fundamentalmente por:

- la carga combustible; y
- la capacidad de aporte de oxígeno a la combustión.

Generalmente, los revestimientos no son los primeros materiales en incendiarse, pero una vez declarado el fuego, estos materiales, por su naturaleza, características y localización, pueden afectar significativamente al crecimiento, desarrollo y propagación del incendio.

Los materiales de revestimiento influyen en la propagación del incendio, dadas las características de continuidad de los mismos, y aumentan la intensidad del fuego al aportar combustible adicional. Por último, pueden dar lugar a gran cantidad de humos y gases tóxicos.

La rapidez con que un incendio puede iniciarse y propagarse, desde el punto de vista de los materiales de revestimiento, depende de tres factores:

- La facilidad de inflamación de los materiales.
- La rapidez de propagación de las llamas por la superficie de los materiales.
- El desprendimiento de calor durante su combustión.

Los revestimientos proporcionan una base de propagación de las llamas, facilitando la extensión del incendio a otras zonas. Los revestimientos pegados transmiten más lentamente el fuego que los no pegados, ya que éstos, por efecto del fuego y del calor, pueden abombarse más fácilmente, presentando simultáneamente dos superficies a la propagación de las llamas. Los revestimientos combustibles aumentan su peligrosidad al aumentar su espesor, puesto que la cantidad de material combustible que aportan al fuego es mayor, manteniendo durante más tiempo la combustión.

7. Influencia de los revestimientos en curvas de incendio paramétricas según Eurocódigo UNE EN 1991-1-2:2004.

Generalmente, cuando se produce un incendio, se inicia de forma localizada y se va extendiendo a las zonas próximas, elevando la temperatura del recinto, lentamente. Si el aporte de oxígeno es suficiente la temperatura se sigue elevando lentamente hasta que el recinto alcanza una temperatura tal (del orden de 500-600°C) en que todo el material combustible existente empieza a arder simultáneamente, “flashover”, aumentando las temperaturas de forma muy rápida hasta alcanzar las máximas temperaturas durante un corto periodo de tiempo y luego empieza una lenta caída de las temperaturas de bastante mayor duración.

Desde hace mucho tiempo se han desarrollado modelos físicos para la descripción del incendio. El más sencillo, y más empleado, es el denominado curva estándar de incendio, recogido en todas las normativas (UNE EN 1363, UNE EN 1991-1-2:2004, ISO 834).

Este modelo define una relación tiempo-temperatura sin tener en cuenta ninguno de los parámetros que se ha visto influyen en el incendio, mediante la expresión:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}],$$

donde

Θ_g	es la temperatura ambiente en el sector	[$^{\circ}\text{C}$],
t	es el tiempo desde el desarrollo del incendio	[min].

Este modelo es el usado para la realización de ensayos normalizados de resistencia al fuego de materiales y elementos estructurales y, por tanto, la mayor parte del conocimiento existente se basa en él. Sin embargo, este modelo es demasiado elemental para reproducir una *curva de incendio real*.

Para obtener *curvas de incendio real* se han desarrollado nuevos métodos, más o menos complejos, basados en la llamada Dinámica de Fluidos Computacional (CFD en las siglas inglesas) que podemos agrupar de la forma siguiente:

- *Métodos generales*
- *Modelos de zona*
- *Modelos simplificados*

Dentro de estos *modelos simplificados* se incluyen los definidos en la versión aprobada del Eurocódigo 1991-1-2:2004, de reciente publicación en España, que define las curvas tiempo-temperatura mediante las denominadas *curvas paramétricas*. Este es el modelo empleado en este estudio.

8. Características de los muros

La evidencia experimental de la importancia de las propiedades térmicas de los materiales componentes de paredes de recintos durante el desarrollo de un incendio, ha quedado demostrada desde hace algunos años. En los primeros años de la década de los 60, la Fire Research Station señalaba que: «*las propiedades térmicas de los materiales constituyentes de una pared de una habitación de poca extensión tiene una influencia decisiva en el desarrollo del incendio*». En experiencias posteriores se ha demostrado que dicha influencia puede extrapolarse a cualquier local, por grande que éste sea.

Por otro lado, distintas investigaciones han comprobado que sólo el 30 por 100 del calor generado durante el incendio se transfiere a las paredes y techos, la velocidad de aumento de la temperatura de un local aislado térmicamente puede ser el doble de la de un local sin revestimiento (160° C/min. frente a 88° C/min., respectivamente en el caso estudiado).

Durante 1976 *Degenkolb* demostró además, la influencia que el aislamiento de un edificio presenta sobre las propiedades de combustibilidad del mobiliario interior del propio edificio.

Las principales propiedades térmicas de los materiales de revestimiento que mayor influencia pueden tener sobre un incendio son:

- a) Conductividad térmica; λ (W/mK)
- b) Densidad; ρ (kg/m³)
- c) Calor específico (o capacidad térmica); c (J/kgK)

que sirven para definir otra característica térmica fundamental:

- d) Inercia térmica; b (J/m²s^{1/2}K).
$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$$

La conductividad y el calor específico de un material dependen de la temperatura a que se encuentra el mismo.

9. Planteamiento y desarrollo de la investigación

Se plantea el estudio de diversos tipos de acabado y soportes de acabado tanto combustibles como incombustibles para analizar su comportamiento en el caso de un incendio real. Para ello utilizaremos la formulación existente en el Anejo A del Eurocódigo 1991-1-2 : *Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1-2: Acciones en estructuras expuestas al fuego*. En los cálculos se supone que toda la carga de fuego se consume en el incendio y es principalmente de tipo celulósico. Las expresiones utilizadas son aplicables únicamente a sectores de incendio de área menor de 500 m² y altura menor de 4m.

Como se ha mencionado anteriormente se necesitan definir varios parámetros para plantear este caso particular: Se debe definir el compartimento: no solamente la geometría, sino también las características térmicas de los muros que pueden llegar a acumular y a transferir una gran cantidad de energía emitida por el fuego, y de las aberturas que permiten el intercambio de aire con el exterior del sector y el aporte de oxígeno que favorece la combustión.

Caso estudiado:

Se trata de una vivienda unifamiliar de planta rectangular 10x15m y altura 3m con disposición de aberturas en los dos lados mayores (20% de superficie total acristalada, habitual en edificación en España) con una carga de fuego de uso vivienda de 650MJ/m².

GRUPO DE MATERIALES		CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS					FUENTE DE LOS DATOS	
		Espesor s _i (cm)	Calor específico c (J/KgK)	Densidad (Kg/m ³)	Conductividad Térmica d (W/mK)	Inercia Térmica b (J/m ² s ^{1/2} K)		
incombustibles	Tendido-enlucido de yeso	0.8	1000	1000	0.4	632	UNE EN 12524:2000	
	Yeso muy denso	1.5	1000	1500	0.56	917	UNE EN 12524:2000	
	Mortero de cemento	1.4	1050	2000	1.4	1715	NBE CT-79	
	Panel metálico	Aleaciones Aluminio	0.2	880	2800	160	19855	UNE EN 12524:2000
Cobre		0.2	380	8900	380	35849	UNE EN 12524:2000	
combustibles	Placa de cartón-yeso	1.3	920	900	0.18	386	UNE EN 12524:2000	
	Panel no metálico	Madera (aglomerado)	1.5	1700	300	0.1	226	UNE EN 12524:2000
		Placas de corcho	1.5	1500	400	0.065	197	UNE EN 12524:2000
	Plásticos	Polietileno alta densidad	0.2	1800	980	0.5	939	UNE EN 12524:2000
	Fábrica	11/5	920	1200	0.49	735	NBE CT-79	
	Aislamiento (lana mineral)	1	1030	50	0.044	48	UNE 92105:2000	
	Cámara de aire	0.03	1008	1.23	0.29	19	CEN/TC89WG2 (1994)	

Tabla 1. Características térmicas de los materiales de revestimiento interior

Las secciones constructivas de fachada y cubierta de los cerramientos del sector son secciones tipo en las que se produce una variación en los revestimiento interiores. Siendo el tipo de envolvente un sistema de cerramiento tradicional de muro de fábrica, estudiaremos el comportamiento de distintos revestimientos interiores aplicados a él.

Las características térmicas de los materiales utilizados como revestimiento interior vienen relacionadas en la Tabla 1.

10. Análisis de resultados

Del estudio realizado se puede hacer el resumen y primer análisis que se indica a continuación:

- la inercia térmica del revestimiento interior del paramento varía principalmente entre los valores de 226 y 939 MJ/m² (contando con excepciones como las de los *paneles de aluminio y cobre*, que tienen inercias mucho mayores y los *paneles de corcho o madera* con inercias térmicas inferiores a la media).
- La inercia térmica simplificada del revestimiento interior es, en la mayoría de los casos estudiados, prácticamente equivalente a la inercia térmica del revestimiento interior (a excepción del caso de los *paneles metálicos*).
- La temperatura máxima media que alcanza el incendio en los casos estudiados es de unos 1200°C. Los valores máximo y mínimo se alcanzan en el caso de revestimiento interior de *panel de aluminio* (en el que se alcanza una temperatura interior de 1266°C) y en el caso de revestimiento de *mortero de cemento* (donde la temperatura alcanzada es de 1126°C) respectivamente.
- el tiempo en el que se alcanza la temperatura máxima no depende del tipo de revestimiento interior utilizado y es de 46 minutos.
- La duración del incendio oscila entre los 73 minutos en el caso del revestimiento interior de panel de aluminio y los 106 minutos del caso del revestimiento de mortero de cemento, siendo la duración media del incendio de unos 85 minutos.

Los resultados obtenidos hasta el momento se han obtenido para el caso de una vivienda tipo de superficie en planta de 150 m², con una carga de fuego de uso vivienda de 650 MJ/m² y con un 20% de aberturas en fachada.

Si modificamos el porcentaje de aberturas al 10% en fachada en cuatro casos concretos (revestimiento interior incombustible, revestimiento interior combustible, revestimiento interior metálico y fábrica sin revestimiento interior) obtenemos los siguientes resultados:

- La temperatura máxima media que alcanza el incendio en los casos estudiados es de unos 1100°C. Los valores máximo y mínimo se alcanzan en el caso de revestimiento interior de *panel de aluminio* (en el que se alcanza una temperatura interior de 1162°C) y en el caso de fábrica sin revestimiento interior (donde la temperatura alcanzada es de 1055°C) respectivamente.
- la temperatura máxima alcanzada en el incendio se obtiene, en todos los casos estudiados, cuando han transcurrido 97.5 minutos desde el inicio del incendio.
- La duración del incendio oscila entre los 202.75 minutos en el caso del revestimiento interior de panel de aluminio y los 291.25 minutos del caso de fábrica sin revestimiento interior, siendo la duración media del incendio de unos 250 minutos.

11. Conclusiones

Del análisis efectuado sobre el comportamiento ante el incendio de distintos revestimientos interiores con diversas configuraciones de muros de cerramiento se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Para las situaciones estudiadas con un 20% de aberturas en fachada, en los casos usuales de revestimiento interior (enlucido de yeso, placas de cartón-yeso...) los valores obtenidos de la inercia térmica del revestimiento interior y de la inercia térmica equivalente son prácticamente coincidentes, mientras que en los casos en los que el revestimiento interior es un panel de aluminio o cobre (más inusual) la diferencia alcanzada entre la inercia térmica del revestimiento interior y la inercia térmica equivalente es sustancial. Sin embargo, las temperaturas máximas alcanzadas con revestimientos interiores distintos varían entre 1126°C y 1266°C y se alcanzan en el mismo tiempo (46 minutos). La duración media del incendio es de unos 85 minutos.
- Para las situaciones estudiadas con un 10% de aberturas en fachada, en los mismos casos anteriores las temperaturas máximas alcanzadas con revestimientos interiores distintos varían entre 1055°C y 1162°C y se alcanzan en el mismo instante (alrededor de los 97 minutos). La duración media del incendio es de unos 250 minutos, es decir, tampoco en estos casos tiene importancia la inercia térmica del revestimiento interior frente a la importancia del índice de huecos en fachada.
- La temperatura máxima y el instante en el que se alcanza en todos los casos están directamente relacionados con el porcentaje de huecos en fachada, ya que la capacidad de aporte de oxígeno a la combustión del incendio es función de las aberturas. Además la duración del incendio es mucho mayor que en el caso anterior puesto que la combustión del incendio es mucho más lenta.
- Al modificar el índice de aberturas en un 10% de huecos en fachada, la curva de incendio real sigue una trayectoria muy parecida a la de la curva de incendio ISO 834. Esto es debido a que el caso estudiado es similar a un caso estándar (aunque al final exista una etapa de agotamiento que no se da en la ISO), mientras que en los casos en los que el índice de aberturas es del 20%, debido al aporte de oxígeno, la temperatura crece muy rápidamente en las primeras fases del incendio llegando a agotarse lentamente.
- Al utilizar las curvas paramétricas y los datos de los ensayos en lugar de la curva de incendio nominal o estándar se produce un avance en el campo de aplicación del método. Los avances propuestos en el documento "*Background document on Parametric temperature-time curves according to Annex A of prEN1991-1-2*" permiten mejorar el comportamiento idóneo de los acabados y soportes de acabado así como del resto de elementos que conforman el cerramiento vertical de la vivienda.

12. Referencias Bibliográficas

- Instrucciones Técnicas de Protección contra Incendios nº2
- Fundación Mapfre Estudios. Instituto de seguridad Integral. ITSEMAP Fuego. Madrid, Septiembre, 1987
- La construcción y el fuego. Fundación Mapfre AA.VV. Editorial Mapfre, S.A. Pº Recoletos, 25. Madrid-4. Simposio Majadahonda, 1982.; 438 Págs. ISBN: 84-7100-119-5
- Eurocódigo 1. Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1-2: acciones en estructuras expuestas al fuego CEN/TC250/SC1. AENOR. 2004.
- Background document on Parametric temperature-time curves according to Annex A of prEN1991-1-2 (24-08-2001). Profil Arbed. Centre de recherches. CEN/TC250/SC1/N298A . Document nº EC1-1-2/72.