

# ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO AL FUEGO

DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION



criterios de los ensayos de resistencia al fuego, el producto puede considerarse apto según la categoría en la que sea posible su inclusión.

A pesar de lo dicho, y en buena práctica de prevención contra incendios, ambos criterios deben ser empleados conjuntamente, de la forma mas conveniente, pero sin confundirlos.

## RESISTENCIA AL FUEGO

SANTIAGO GARCÍA ALBA

DIRECTOR TÉCNICO DE LOS LABORATORIOS DE REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO DEL LICOF\*

La resistencia al fuego es el grupo de técnicas que nos permite examinar y clasificar a un conjunto de materiales, formando un elemento constructivo completo, en cuanto al cumplimiento de un cierto nivel de funciones estructurales y/o compartimentadores dentro del edificio en caso de Incendio.

La definición final mas ajustada del concepto de Resistencia al fuego será expresada cuando se hable mas adelante de los criterios de evolución que la soportan.

**Foto. Ensayo de tablero de madera revestido de suelos en la cabina de ensayos según UNE 23-721-90**

### Conceptos básicos

A diferencia de la Reacción a fuego, la Resistencia al fuego propicia métodos de ensayo destinados a la evaluación de conjuntos que se valoran de forma simultánea, interrelacionada, y a tamaño lo más real posible, no pudiéndose, a menudo, deducir comportamientos válidos para el

conjunto con el ensayo de partes discretas de ese conjunto o deducir resultados aplicables a una parte habiéndose ensayado en conjunto.

Inicialmente no es objeto de la resistencia el evaluar si las materiales que componen el conjunto son de alta o baja reacción al fuego. Siempre que estos permitan que el elemento completo mantenga la función para la que ha sido destinado, según la

### Funcionalidades de la resistencia al fuego

La resistencia al fuego tiene por función establecer el grado más razonable de protección atendiendo a dos objetivos básicos:

- **Compartimentación:** una vez desatado el Incendio, este se deberá mantener limitado dentro de lo que llamaremos en términos arquitectónicos (y que hemos citado anteriormente) el 'sector de incendio' y que definiremos como aquella unidad de espacio máximo del edificio, subsectorizado o no, delimitado por paredes, techo y suelo con sus correspondientes ventanas, puertas, sellados, etc., a la que se exige determinada resistencia, normalmente establecidas por la Reglamentación en función del uso del edificio y de las exigencias propias del proyecto.

- **Sustentación:** la otra función esencial encomendada la Resistencia al Fuego es el desarrollo de sistemas que permita la 'estabilidad estructural' del edificio durante el incendio y que se traduce en el tiempo en que se puede evitar su hundimiento.

### Objetivos de la resistencia al fuego

La resistencia al fuego participa en

las fases últimas del incendio un vez que este se ha iniciado:

- impide su extensión por otras partes del edificio, fuera del sector de incendio, abocando al fuego a extinguirse cuando haya agotada los combustibles y comburentes del sector donde se ha desatado
- sus elementos protegen vías de evacuación.
- permite la acción de la brigadas de salvamento, permitiendo prolongar la estabilidad del edificio.
- permite incluso la preservación del edificio y su contenido tras la evacuación de personas.

De esto se deduce que el tiempo en que los elementos de adecuada resistencia al fuego son capaces de contener el incendio se traduce en tiempo de evacuación y tiempo de intervención para la brigadas de salvamento, cuya seguridad a menudo se olvida.

**Mecanismos básicos para la evaluación mediante ensayo, de la resistencia al fuego: el fuego tipo normalizado y la duración equivalente**

**El fuego tipo normalizado**

**Concepto**

El 'fuego tipo normalizado' (coloquialmente «curva de exposición o calentamiento» por su forma gráfica) se desarrolla a partir del conocimiento previo establecido sobre las fases del incendio y los factores de severidad del incendio antes vistos. De esta innumerable cantidad de factores resulta una también innumerable cantidad de fuegos posibles, tantos como sectores y edificios y de duración e intensidad variables. Esto nos enfrenta a la necesidad de «racionalizar» unas condiciones de exposición que representen un fuego que pueda darse en la realidad y que represente un nivel de exposición razonable.

La idea de fundamentar el ensayo en la simulación de fuegos-tipo «reales» para cada caso concreto, aunque parezca muy ceñida a la realidad a priori, sería antipráctica y motivaría la necesidad de convertir en inamovibles todos los factores (cargas de fuego, distribución, etc..) que han permitido la evaluación del fuego (ya hemos visto que es posible dicha estimación), lo que es, a todas luces, imposible.

Valorados estos factores, se

desarrolló un tipo de exposición al fuego que trata de representar el mayor número de casos posibles: esto es el fuego tipo normalizado. Esta curva se expresará en coordenadas de temperatura y tiempo. Como todo procedimiento de ensayo este fuego tipo sirve para establecer una base de referencia única y de valoración relativa entre los diferentes productos de resistencia al fuego. Sus orígenes se describen mas adelante.

**Como ejecutar el fuego tipo: el horno de ensayos**

La necesidad de reproductibilidad de cada ensayo ha motivada el desarrollo de una compleja de ensayo basada en un equipo esencial: 'el horno de ensayos', cuyo diseño, estructura, materiales y equipo de combustión deben permitir reproducir el fuego-tipo con cierto grado de fidelidad, asegurar la exposición total y lo más uniforme posible del elemento sometido a ensayo en unas condiciones razonables de economía y severidad. Estos hornos cuentan con equipos completos de combustión que usando combustibles como el gas, el gasoil, etc, reproducen la intensidad del fuego tipo normalizado a través del control de temperatura con pares termoelectrónicos (o termopares) en función del tiempo, permitiéndose una banda de fluctuación tolerable, y con las condiciones de presión, circulación de aire y calidad de combustión controladas y reproducibles. Estos hornos tienen diversos tamaños pero es normal que tengan de 27 a 38 m³ de volumen interior, con bocas útiles de 3x3 m o 3x4 m, donde se aproxima y fija la muestra para ensayo.

**Fuego tipo normalizado ISO**

La expresión del fuego tipo normalizado que viene dado en la norma de ensayo es la fórmula exponencial:

$$T - T_o = 345 \log ( 8 t + 1 )$$

T, la temperatura señalada por la formula.

T<sub>o</sub>, la temperatura ambiente al inicio del ensayo.

t, el tiempo en minutos

Esta expresión en coordenadas semilogarítmicas supone una línea recta a partir de los primeros minutos de ensayo, lo que facilita su reproducción gráfica.

En España, el valor de t llega

hasta 6 horas de duración.

Esta fórmula supone una evolución de la temperatura así:

0 min -----	Tª ambiente
5 min -----	556°C
10 min -----	659°C
15 min -----	718°C
30 min -----	821°C
60 min -----	925°C
90 min -----	986°C
120 min -----	1029°C
180 min -----	1090°C
240 min -----	1133°C
360 min -----	1193°C

Las bandas de tolerancia también se encuentran en la norma. Dentro de ellas, se consideran el ensayo como válido. Estas bandas son:

- Hasta min 10 = ±15% sobre la temperatura teórica
- Hasta min 30 = ±10% sobre la temperatura teórica
- Desde min 30 = ±5% sobre la temperatura teórica

La razón de esto es que la curva es exponencial, o sea, presenta un incremento muy fuerte de temperatura al inicio para suavizarse después. En estas primeras fases es muy difícil controlar el horno, por eso se permite una mayor fluctuación, que se estrecha cuando el avance del ensayo permite una mayor estabilización.

**Fuegos tipos alternativos**

El proyecto de norma europeo PrEN ISO 834-2 (antes PrEN 1364-2) titulado Ensayo de resistencia el fuego: procedimientos alternativos y adicionales supone, por primera vez, un intento racional e integrador de poner en uso fuegos-tipos desarrollados últimamente.

Esta circunstancia hace mas realista -dentro de unas límites lógicos- las condiciones de ensayo para ciertos elementos (muros exteriores, etc..) (cuyo ensayo frente a la curva ISO o era demasiado exagerada o demasiado pobre. Estos son:

- *Curva de alta intensidad o de hidrocarburos*, diseñada para fuegos de recintos en presencia de combustibles altamente inflamables, por ejemplo, refinarias. Esta curva es la que mas ha sido utilizada junto con la ISO. La formula es:

$$T = 1080 ( 1 - 0,325 e^{-0,167 t} )$$

En esta curva se alcanzan los 1080°C en 30 min aproximadamente

y se mantiene en ese punto durante casi toda la exposición.

- *Curva de fuego latente*, diseñada para ensayo de materiales intumescentes, a los que esta condición de calentamiento supone la más desfavorable de las que pueden producirse

Para ese tipo de protección. La fórmula es:

de 0 a 20 min  $T = 154 (t^{0,25}) + 20$   
de 21 al final  $T = 345 \log_{10} (8t + 1) + 20$

- *Curva de fuego exterior*, diseñada para ensayo de elementos situados en fachadas al exterior de la edificación, donde solo concurre la transmisión por radiación desde un incendio en edificaciones adyacentes. La fórmula es:

$$T = 660 (1 - 0,683 e^{-0,32 t})$$

Esta curva se estabiliza en 600°C a los 20 min aproximadamente.

- *Fuego semi-real* con cargas tipo de madera, normalizadas en peso, tipo, método de apilamiento y contenido de humedad. Se situarán con menor o mayor carga en función de las condiciones que se quieran reproducir.

Estas alternativas se aplicarán en función de los requisitos reglamentarios que se quieran establecer con el tiempo. De momento no son más que de aplicación voluntaria en nuestro país.

### Duración equivalente

#### Concepto

La duración equivalente supone el período de tiempo correspondiente al fuego tipo normalizado que proporciona los mismos efectos (daños) sobre el elemento de construcción que produciría el incendio real latente en un recinto determinado.

#### Aplicabilidad

Este principio trata de solventar las limitaciones de aplicabilidad en los resultados obtenidos mediante el ensayo con fuego tipo normalizado adaptándolo a las condiciones de fuego real esperados en ese edificio o sector de edificio.

#### Procedimiento de aplicación

Ya se ha dicho que la estimación en cuanto a previsible incendio latente en un recinto es posible de una manera más o menos aproxima-

da, con una correcta valoración de los factores del incendio. Aplicando un coeficiente corrector (normalmente multiplicar por 1,2) sobre la carga de fuego expresada en kg/m<sup>2</sup> de superficie del recinto o en su equivalente en unidades de potencial calorífico y ponderado los factores de ventilación, etc. se obtiene una evolución, expresable incluso gráficamente de el incendio previsible en ese compartimento.

Establecido este parámetro, se puede determinar la duración equivalente por medio de dos maneras posibles:

- confrontación la evolución de la temperatura de un elemento con curva tipo y el mismo con el fuego real ponderado. Ambos alcanzarán la misma temperatura señalada como crítica en dos instantes distintos. Estos dos instantes son la duración equivalente con la curva tipo y con la real.

- partiendo de que la severidad del incendio es proporcional al área encerrada bajo la curva temperatura-tiempo, se trataría de establecer las áreas que suponen en un punto determinado de la curva real (correspondiente a la temperatura crítica) y confrontar con el mismo punto que marca idéntica área bajo curva en la curva de fuego tipo, quedándose así identificado el tiempo de Resistencia al Fuego equivalente.

#### Limitaciones

El hecho de que este concepto tan prometedor no se haya desarrollado se debe a:

- existen limitaciones para calcular evoluciones teóricas de temperatura de algunos elementos bajo un hipotético fuego real

- la estimación de una carga de fuego real hace inamovible los factores que la soportan, cosa impensable en un edificio ocupado y en permanente movimiento y tránsito

- la curva ISO supone un valor de seguridad reconocido, puesto a prueba repetidamente, que confiere un nivel de seguridad más que aceptable y que es aceptado universalmente al representar, en realidad, un fuego de tipo medio-alto. La mecánica del ensayo es, además, más sencilla que introducirse en todo tipo de estimaciones, algunas de ellas bastantes subjetivas.

#### Ensayos y clasificación de

### elementos constructivos según su resistencia al fuego, en España

#### Criterios de evaluación

Con cada norma puede y se debe ensayar distintos elementos de construcción según su uso y función al que se destinan, estableciéndose ciertas peculiaridades en el tipo de elemento que sea. Los criterios de valoración se establecen también para cada elemento según su función, que dividiremos en tres grandes grupos:

- función separadora o de compartimentación, vertical y horizontal.
- función sustentadora o estructural.
- función mixta separadora-sustentadora.

Vamos a exponer los criterios de evaluación y las terminologías en que se expresa, a fin de hacer comprensible la lectura del mismo punto.

Los criterios límite a partir del cual se considera que al elemento sometido a ensayo dejaría de cumplir la misión que se le ha encomendado en caso de incendio son también criterios convencionales y adoptados por consenso. No obstante aquí se refleja lo que hoy en día se aplica en España:

- elementos portantes:

- criterio límite para estabilidad al fuego en estructuras de acero laminado: obtención de 500°C como temperatura media de varios puntos de la muestra y/o límite de flexión máximo tolerable, actualmente L/30, siendo L distancia entre apoyos de viga o cese de dilatación en pilares). Hoy se anota además la velocidad de deformación para futuras aplicaciones del criterio futuro del proyecto de norma europea correspondiente.

Este tipo de elementos en acero supone casi el 100% de ensayos sobre estructura portante al ser el fuego (y la corrosión) los dos grandes enemigos de este sistema de construcción, por otro lado tan barato y rápido. Los materiales de protección contra incendio tienen bastante desarrollo como industria aneja al acero estructural y normalmente los ensayos son para evaluar la capacidad de protección de estos productos.

500°C supone el límite teórico en cuanto a elasticidad del acero, deformándose irreversiblemente

desde ese punto de temperatura. No obstante se sabe que la situación de perfil, tipo de carga, puntos de apoyo, etc.. influye notablemente en esa temperatura límite, modificándola normalmente al alza, por lo que este criterio está bastante del lado de la seguridad. Este criterio está hoy en revisión y posiblemente será sustituido por los criterios de medida de deformación/dilatación máxima tolerable para ese caso de perfil y velocidad de esta, de acuerdo al proyecto de norma europea.

- criterio límite para Estabilidad al Fuego en estructuras de hormigón, madera y mixtas hormigón-acero: criterio de deformación máxima. En madera, se estudia la adopción de un criterio que identifique la velocidad de penetración de las combustión en el interior de la madera, restando así sección útil portante.

El resultado expresado en minutos expresa un tiempo de mantenimiento de cualidades frente al fuego del conjunto ensayado, y se clasifica según el criterio de mantenimiento en minutos de la capacidad portante, de la que llegaremos al criterio final de resistencia al fuego.

• elementos separadores sin carga: los criterios vienen especificados en la norma UNE 23-093-81. Cualquier elemento destinado a separar dos sectores, se valora según lo siguiente:

- aislamiento termico: no debe registrarse en ningún punto de la superficie no expuesta de la muestra la temperatura de mas de 180°C en cualquier punto o de 140°C como media de varios termopares situados en posiciones prefijadas o ningún caso se debe superar los 220°C. Las temperaturas establecidas se consideran ya peligrosas para los posibles ocupantes del otro lado del sector incendiado y podría transmitir el incendio al otro lado del sector en contacto con materiales de acabado, decoración, etc..

- estanquidad: la muestra no debe formar fisuras, orificios etc.. por donde el gas y humo a alta temperatura originando en el sector incendiado pueda transmitir su fuego al otro lado, pudiendo entrar en contacto con materiales susceptibles de arder y por lo tanto de facilitar la propagación del fuego al otro sector.

- no emisión de gases inflamables: los hornos de ensayo están preparados para el trabajo en presión

#### Preparación para ensayo normalizado de una estructura de madera laminada según UNE 23-093-81 y estado de la estructura tras el ensayo normalizado

ligeramente superior a la de ambiente externo (10 Pascal). De esta manera, no sólo se acerca a la realidad, si no que se impulsa hacia el exterior de la muestra una serie de gases cuya naturaleza puede así ser observada. La salida de gases inflamables es factor de riesgo importante, dado que cualquier chispa o pequeño punto de activación inflamaria dichos gases, permitiendo al paso del fuego al otro sector.

La observación en la cara no expuesta de llamas de mas de 20 s de duración sostenida, ya sean espontaneas o provocada por la acción de una llamas piloto, invalida este criterio.

- elementos mixtos: idem que el

anterior, con criterios añadidos de Capacidad portante normalmente basados en la flexión central límite. La que de ellos alcance al resultado mas desfavorable procederá a clasificar la muestra ensayada.

#### Clasificación

Estos cuatro criterios : capacidad portante, estanquidad, no emisión de gases inflamables y aislamiento térmico, debidamente interrelacionados forman la llamada 'resistencia al fuego' de un material de construcción.

Por lo tanto nos atreveríamos a establecer una definición mas ajustada de lo que la Resistencia al Fuego:

«Resistencia al Fuego es el tiempo en que un elemento constructivo, separador, portante o ambas cosas a la vez, cumple unas requisitos de capacidad portante (si es el caso) o de estanquidad, no emisión de gases inflamables y aislamiento térmico determinado».

El método de clasificación deducido de esta definición se aplica en 'unidades de tiempo' y se establece para cada uno de los cuatro conceptos expresados. En el 'informe técnico de ensayo' se expresará el tiempo en minutos que ha durado cada uno de ellos.

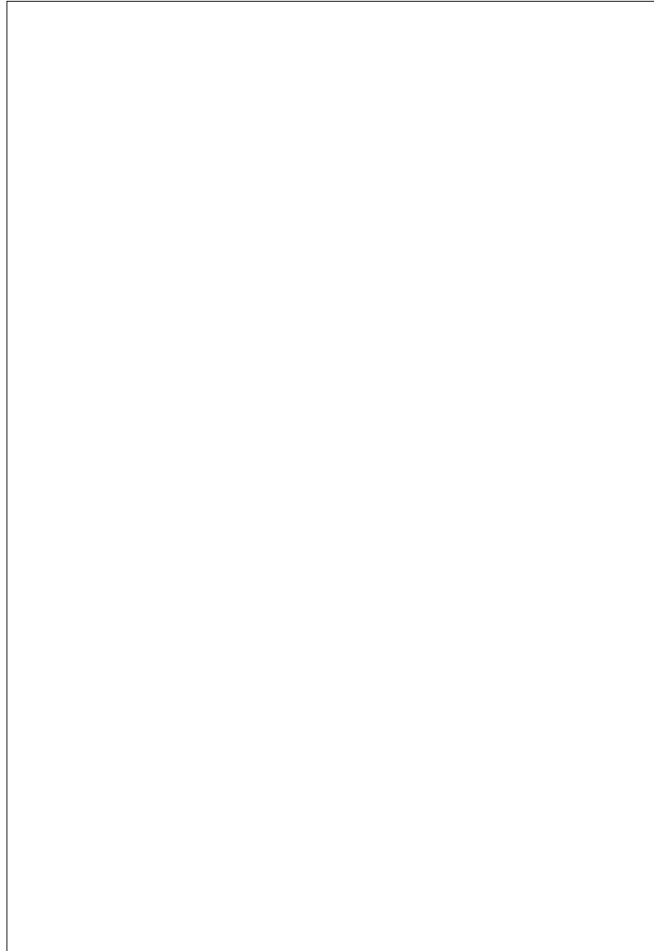
El anexo informativo a de la norma UNE 23-802-79 incluyó unas denominaciones estandarizadas para las categorías que se derivan de cada uno de los cuatro conceptos. Aunque esta norma, como ya veremos, se destinó al ensayo de puertas y elementos de cierre de huecos, las nomenclaturas ahí expuestas han tenido mucha extensión, convirtiéndose incluso en el lenguaje habitual de la Reglamentación a la hora de establecer exigencias en cuanto a resistencia al fuego, y las que normalmente se utilizan en el uso diario de estos conceptos. Estas son:

- **Estabilidad al fuego** (denominado abreviadamente EF) : Derivada del criterio de Capacidad Portante, es, en elementos estructurales, el cumplimiento de los requisitos de que permiten suponer que los elementos que soporta carga seguirá desempeñado su función. Y en elementos separadores, es el tiempo en que se mantiene la función para la que ha sido diseñado.

- **Estanquidad al fuego**: solo aplicable, obviamente al elementos separadores y mixtos, y que supone el tiempo de cumplimiento del criterio del mismo nombre, de los criterios de Estabilidad al Fuego.

- **Parallamas** (denominado abreviadamente PF): sólo aplicable al elementos separadores y mixtos, y que supone el tiempo de cumplimiento del criterio de no emisión de gases inflamables, junto con los criterios de Estabilidad al Fuego y Estanquidad al Fuego.

- **Resistencia al fuego** (denominado abreviadamente RF): solo aplicable a elementos separadores y mixtos, y que supone el tiempo de cumplimiento del criterio de aislamiento térmico, junto con los criterios de estabilidad al fuego, estanquidad al fuego y parallamas.



#### Ensayo complementario de panel según UNE 23-726-90

El cumplimiento de requisitos en uno de estos aspectos supone el cumplimiento del anterior. Si el anterior falla, el siguiente deja de cumplirse.

Por lo tanto, la resistencia al fuego en elementos separadores es el cumplimiento simultaneo de los cuatro criterios, pudiéndose clasificar en categorías anteriores si la que evaluamos fallara. La resistencia al fuego en elementos sustentadores implica únicamente el cumplimiento de los requisitos de estabilidad al fuego de aplicación.

Las categorías se expresan en periodos de tiempo, que se obtienen de redondear a la baja el tiempo en minutos obtenido en cada aspecto. Estos periodos están normalizados y sirven para establecer exigencia con mayor facilidad. Son:

- UN CUARTO DE HORA (15 MIN)
- MEDIA HORA (30 MIN)
- UNA HORA (60 MIN)
- UNA HORA Y MEDIA (90 MIN)
- DOS HORAS (120 MIN)
- TRES HORAS (180 MIN)

- CUATRO HORAS (240 MIN)
- SEIS HORAS (360 MIN)

Un elemento separador que obtuviera un resultado de 102 min de Resistencia al Fuego (estabilidad, estanquidad, parallamas y aislamiento térmico) y cuyo fallo fuera alcanzar la temperatura límite, sería clasificado como UNA HORA Y MEDIA RESISTENTE AL FUEGO o abreviadamente RF90. Independientemente, si hubiera registrado un mantenimiento de criterio respecto a no emisión de gases inflamables de 145 min, podría además clasificarse como DOS HORAS PARALLAMAS, abreviadamente PF120. De esta manera, un mismo elemento puede tener diferentes grados en diferentes aspectos de la resistencia al fuego.

Así mismo, un elemento estructural cuyo límite establecido para evaluar por la capacidad portante se alcance en la minuto 89 de ensayo, tendría una clasificación de ESTABLE AL FUEGO UNA HORA, abreviadamente, EF60.