

COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA

INTRODUCCIÓN

La creación del fuego mediante la rozadura de dos palos y su uso como combustible para el cocinado y la calefacción ha influido decisivamente en la desconfianza de la madera como elemento estructural. El desarrollo histórico de grandes incendios en ciudades con edificios de madera ha aumentado esa desconfianza. Entre ellos se pueden mencionar los de Roma, en el año 64, el de Londres de 1666 (que dio lugar a la primera normativa contra la madera para incorporar barreras entre edificios medianeros) o los de Trondheim (Noruega) de 1717 han influido en el imaginario colectivo de generaciones posteriores en todo el mundo. De hecho, cuando se recibe la noticia de un incendio, si se informa que se trataba de un edificio de madera, la gente lamenta que se siga usando.

A lo largo de la Revolución Industrial en el siglo XVIII y en EEUU en el siglo XIX, los incendios continuaron, pese a que empezó a prohibir la construcción con estructura de madera y su sustitución por mampostería, hormigón y acero. Se formaron departamentos públicos contra incendios, se instalaron suministros públicos de agua con tuberías de aguas subterráneas y bocas de incendios, y se produjo una mejora de los camiones de bomberos. El uso del acero y el hormigón en estructuras –no combustibles- se tomó como la panacea contra este problema, falsedad que vinieron a demostrar otros grandes incendios como los de Chicago 1871 y San Francisco 1906, que no tuvieron nada que ver con la madera y causaron los mismos estragos.

Puntos a resaltar de estas experiencias históricas:

- Los incendios comienzan y se desarrollan por causas externas a la estructura pero acaban destruyendo ésta y el edificio.
- Muy pocos edificios que sufren un incendio pueden aprovechar su estructura posteriormente ya que las elevadas temperaturas alcanzadas en un incendio plenamente desarrollado modifican profundamente la estructura interna de los materiales, ya sea acero, hormigón, ladrillo o madera. O al menos permanece la duda y acaban cayendo bajo la piqueta.
- En un incendio poco desarrollado puede plantearse mantener la estructura pero en acero es muy baja y en hormigón armado algo mayor. En este sentido los daños a la madera se perciben a simple vista.
- Las estadísticas demuestran que los edificios con estructura de madera arden tanto como los de estructura de acero o de hormigón con la diferencia de que la estructura sí aporta combustible al incendio y puede perjudicar en cuanto a su expansión.

La experiencia acumulada en este tipo de incendios condujo a los ayuntamientos y a los gobiernos centrales a establecer medidas legislativas que minoraran los efectos de los mismos. Estas normas han ido homogeneizándose en los distintos países llegándose a establecer los criterios básicos que básicamente se reducen a dar por perdidos la estructura y el edificio y exigir una resistencia mínima que permita la evacuación de las personas y la intervención de los bomberos.

Una de las primeras medidas, lo más parecido a cazar moscas a cañonazos, fue la prohibición de materiales combustibles como la madera como elemento estructural. Esta medida, lógicamente no solucionó el problema.

Combustión de la madera

La madera arde mediante reacciones químicas (combustión) de fuera a adentro disminuyendo paulatinamente su sección proporcionalmente a su exposición al fuego.

En la combustión de la madera es fundamental su volumen: piezas delgadas arden con facilidad mientras las gruesas son más resistentes. Por ese motivo, las estructuras pesadas pueden dejarse vistas, mientras que las ligeras se recubren de materiales incombustibles.

Estructuras pesadas

La estructura va ardiendo y debilitándose progresiva y lentamente debido a las siguientes razones:

- su baja conductividad térmica hace que aumente la temperatura solamente en la superficie permaneciendo el interior, más estable, retrasando así el proceso de combustión.
- la carbonización superficial que se produce impide, por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor. Como en el caso anterior se retrasa el proceso de combustión al quedar protegida la parte interior de las piezas estructurales por las capas superficiales carbonizadas.
- al ser despreciable su dilatación térmica no desestabiliza las estructuras y no las deforma.

Estructuras ligeras

La madera arde y se debilita muy rápidamente por lo que el colapso es muy rápido lo que obliga a protegerla con medios externos. Esta protección no solo es fácil sino inherente al sistema ya que los entramados ligeros de por sí deben revestirse con tableros para completar el correcto funcionamiento del sistema. Que algunos de estos tableros sean de yeso para proteger la estructura no añade ni quita nada al sistema en sí.

CONCEPTOS BÁSICOS EN EL ESTUDIO DEL FUEGO

El estudio del fenómeno de los incendios ha dado lugar al desarrollo de algunos conceptos que son básicos y comunes a todas las normativas y códigos. Estos conceptos hacen referencia a los materiales individuales (reacción al fuego), a los elementos estructurales (resistencia al fuego) y a la definición general de la acción del fuego (incendio).

- Reacción al fuego

La reacción al fuego hace referencia al material y evalúa cómo se comporta ante el fuego: puede favorecer el incendio o no tener ninguna influencia sobre la evolución del mismo. En definitiva se define si el material es o no combustible y se clasifica según su grado de combustibilidad.

- Resistencia al fuego

La resistencia al fuego hace referencia a elementos constructivos o estructurales y mide el tiempo durante el cual dicho elemento sigue cumpliendo su función en el edificio (por ejemplo una puerta, un tabique divisorio fabricado con tableros, una viga, un forjado, etc.). Estas funciones son la capacidad portante (R), la Integridad del elemento (E), el aislamiento (I) y la capacidad de cierre (C) ante un fuego y se definen en la normativa, reglamentos o códigos de construcción.

- Incendio

Un incendio se origina por la combustión de elementos constructivos, mobiliario y decoración y se desarrolla de forma aleatoria en el espacio y en el tiempo en función de la cantidad de y tipo materiales que lo componen. La estructura de un edificio contribuye muy poco en el desarrollo del fuego salvo la madera y en la fase final del incendio. El incendio incluye el comportamiento de todos los materiales y elementos que constituyen la masa del incendio influyéndose entre sí de forma totalmente aleatoria.

Para que se inicie y se desarrolle es necesario que existan materiales combustibles, oxígeno (aire) y una fuente de calor.

El fuego en términos vulgares es luz y calor producidos por la combustión. En términos químicos es la reacción química de oxidación de carácter exotérmico. La inflamación es la formación de llamas que se produce por la emisión de gases en contacto con el aire. La ignición es el fenómeno que inicia la combustión. Depende de la densidad, dimensiones y forma, humedad, velocidad e intensidad del calentamiento, suministro y velocidad del aire. En la madera se produce en torno a 230°C.

INCENDIO = MATERIALES COMBUSTIBLES + OXIGENO + TEMPERATURA

La Fase Inicial del fuego comienza cuando un aumento excesivo de temperatura que inicia la combustión de un material (cortina, mueble, revestimiento, alfombra, papelera, etc). Durante esta fase el incendio todavía se puede dominar y depende de la reacción al fuego de los materiales.

En la Fase de Desarrollo el incremento de calor liberado por los materiales que entran en combustión y las llamas, transmiten paulatinamente el fuego a todo el edificio. La reacción al fuego de los materiales pasa entonces a tener un papel secundario, sólo influye en la propagación.

La resistencia al fuego de los elementos estructurales empieza a jugar un papel importante, ya que de ella depende salvar vidas humanas y bienes materiales.

Complementariamente desde el inicio del incendio se produce la emisión de gases y humos que tiene una gran influencia en las personas ya que pueden provocar la muerte por asfixia en el peor de los casos o pérdida del conocimiento, irritaciones en los ojos y dificultad de visión de las salidas en el mejor. La emisión de gases y de humos va asociada a la reacción al fuego de los materiales.

- Factores que influyen en la combustión de la madera

Los principales factores son los siguientes:

- Especie de madera

Las coníferas suelen tener tiempos de ignición inferiores a los de las frondosas, debido que contienen resinas y aceites naturales que se inflaman fácil y rápidamente. Las maderas de frondosas de poros dispersos (haya) arden más rápidamente que las de poros en anillo (roble) debido a que contienen más aire en su interior que facilita su propagación.

- Densidad

El tiempo de ignición es proporcional a la densidad de la madera. Las maderas más ligeras son las más porosas y por tanto, arden más deprisa que las pesadas porque tienen más aire disponible.

- Escuadría, superficie y forma

En las piezas gruesas se retrasa el punto de inflamación porque la superficie a calentar es mayor para una misma fuente calorífica. Las superficies rugosas y angulosas favorecen la inflamación, debido a que el fuego encuentra puntos de entrada singulares que arden con más facilidad. En las superficies lisas las llamas lamen las caras y tardan más en penetrar hacia el interior.

- Contenido de humedad.

Cuanta más humedad tenga la madera más tiempo requerirá llegar la combustión ya que primero se ha de evaporar el agua contenida en la madera.

- Tamaño de la fuente de calorífica.

La fuente calorífica debe aportar suficiente energía para calentar toda la pieza, no bastando una fuente puntual muy intensa: no se puede quemar una viga con una cerilla.

- Coeficiente de conductividad calorífica de la madera

Su valor es muy bajo, especialmente en la dirección perpendicular a la fibra. Es un factor clave en la resistencia y es superior a la del acero y el hormigón.

El coeficiente de conductividad calorífica de las coníferas (pino y abetos) en la dirección perpendicular varía aproximadamente de 0,09 a 0,12 kcal/mh1C (en las maderas ligeras se sitúa en 0,005 y en las pesadas puede llegar a 0,30). En el caso de los tableros de partículas, y dependiendo del espesor, puede variar de 0,08 a 0,15; y en los de fibras de densidad media de 0,06 a 0,72. Este mismo coeficiente para otros materiales puede alcanzar los siguientes valores 62 (Hierro); 330 (Cobre); de 0,5 a 100 (Cemento); 0,15 (yeso)

Nota

El carbón protege a la pieza de madera de la acción del fuego porque su coeficiente de conductividad calorífica es un 1/4 (1/6) del de la madera.

El carbón vegetal (que es el que se crea en la combustión de la madera) arde además a temperaturas superiores a 500 °C que son más difíciles de alcanzar, aunque una vez que se alcanzan sigue ardiendo sin necesidad de aporte de calor, siempre y cuando exista suficiente oxígeno. La capa de carbón se va consumiendo y creando de forma continua y lenta ya que el oxígeno va también disminuyendo desempeñando su papel protector.

- Calor específico

El calor específico de la madera es bajo, de 0,4 a 0,7 Kcal/kg1C, lo que significa que no se necesita mucho calor para llegar a los 150° C, temperatura a la que empiezan a desprenderse gases combustibles y por tanto a aparecer las llamas.

- Formación de carbón y velocidad de carbonización.

En la madera, a diferencia de otros materiales, se forma carbón en las capas externas, lo que retrasa la difusión del calor hacia su interior que actúa entonces como aislante puesto que es más poroso que la madera. La zona interior de la pieza no sufre apenas modificación térmica y conserva intactas sus propiedades mecánicas, el acero o el hormigón se comportan en cambio de forma totalmente diferente alterando su estructura interna.

La velocidad de carbonización aproximada de la madera es de 0,7 mm/mn. Esto quiere decir que la madera en un incendio es predecible, algo que no ocurre con el resto de materiales cuya respuesta es aleatoria, hasta tal punto que velocidad de carbonización se emplea en el cálculo de las estructuras de madera en la hipótesis de fuego. Se dice además que la madera

avisa, también por los crujidos previos a la rotura. Ello permite planificar las labores de extinción y evacuación con un cierto orden y seguridad, algo importante en un incendio.

RESISTENCIA AL FUEGO Y FORMAS DE MEJORARLA

Un error frecuente es creer que si se mejora la Reacción al Fuego se mejora la Resistencia al Fuego. La reacción al fuego solamente hace referencia a la combustibilidad del material y se evalúa con un ensayo específico, mientras que la resistencia al fuego se evalúa con otros ensayos que miden el tiempo que el elemento desempeña su función. En el caso de los elementos estructurales de madera el parámetro principal es la velocidad de carbonización.

La forma de mejorar la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera es:

- Añadir una sección sacrificial de madera. Según el tiempo que se requiera, se dimensiona la sección para que una vez transcurrido ese tiempo la sección que quede siga desempeñando su función estructural.
- Añadir una sección sacrificial de un material no combustible o Protección Pasiva. por ejemplo tableros de yeso, de forma que no puedan aumentar su temperatura. El yeso no arde y además aísla un cierto tiempo porque debe expulsar también el agua que lleva.
- Añadir una sección sacrificial intumescente que estará operativa, como las anteriores, durante un cierto tiempo. En estructuras de madera están poco desarrolladas y no son demasiado fiables.

Resistencia al fuego de estructuras de madera - Cálculo

La forma habitual y más sencilla de cálculo es mediante el método simplificado de la sección reducida que se recoge tanto en la norma UNE ENV 1995-1-2 (Eurocódigo 5) como en el Código Técnico de la Edificación. El Eurocódigo recoge además otros dos métodos de cálculo como son: el método de la resistencia reducida y el método avanzado; que son menos utilizados.

De forma resumida se puede decir que la estructura de madera se calcula en situación de incendio con una sección reducida por efecto de la carbonización, pero con una resistencia de cálculo que es prácticamente el doble de la que se utiliza en situación normal, y un nivel de tensiones del orden de la mitad del correspondiente a la situación normal. Por lo tanto, la sección reducida después del tiempo requerido de incendio, deberá tener un módulo resistente mayor o igual a una cuarta parte del que tiene inicialmente, si se desea comprobar a flexión. Esto sirve como orientación rápida para estimar el cumplimiento de un determinado tiempo de estabilidad al fuego.

- Comportamiento de las uniones

Las uniones en las estructuras de madera constituyen un punto débil en caso de incendio. Las mayores profundidades de carbonización se darán en los ensambles de las piezas, bien porque existen juntas que facilitan la penetración de la llama o porque se emplean elementos metálicos que conducen el calor hacia el interior. No obstante, la carbonización no es tan elevada como podría pensarse bajo la superficie de contacto entre metal y madera ya que hay poco oxígeno.

En general, de acuerdo con la norma UNE-ENV 1995-1-2, la estabilidad al fuego de las uniones metálicas en situación normal, vistas, alcanzan generalmente un tiempo de 15 minutos. Para llegar a 30 o 60 minutos es necesario sobredimensionar la capacidad de carga

de la unión o proteger los elementos metálicos del fuego, ocultando el herraje de unión dentro de la pieza de madera.

Comportamiento al fuego de otros materiales de construcción

La comparación resulta complicada porque depende de diversos factores intrínsecos al material, o extrínsecos como puesta en obra, tipo e intensidad del incendio, etc. Pese a ello ofrecemos los siguientes procedentes de compañías de seguros que en principio han de considerarse totalmente independientes.

Hormigón

Prácticamente no resulta afectado por temperaturas inferiores a 300°C. Comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380 °C en periodos prolongados de tiempo. A los 400 ° C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25 %, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800°C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable, y se debilitará en mayor medida al enfriarse cuando se apague el fuego. Para evaluar las temperaturas alcanzadas durante el incendio, pueden emplearse variaciones de coloración aunque éstas tienen un matiz subjetivo.

Acero

Sufre una importante pérdida de resistencia durante el incendio, a los 400 °C se vuelve dúctil; a los 600 °C se produce una bajada brusca de su resistencia debido a su elevado coeficiente de transmisión calorífico. Su comportamiento es muy peligroso durante el siniestro por lo imprevisible.

Bibliografía

Protección Preventiva de la Madera. F. Peraza. AITIM. 2001

Fire safety in timber building. Technical guideline for Europe. SP Technical Research institute of Sweden. 2010

Comportamiento al fuego de materiales y estructuras L.M. Elvira Martín y F.J. Jiménez Peris, publicado por el INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) en 1982.

Patologías en las estructuras de hormigón armado. Juan Pérez Valcarcel. Departamento de Construcción, ETSA Coruña

Luis Vega Catalán en Seguridad frente al fuego de las estructuras de Hormigón. Luis Vega Catalán. Revista Hormigón nº 289 Marzo 2007

ASEFA Seguros. Efectos de incendios en estructuras de hormigón armado.

CEPREVEN (2003): Curso Monográfico "Protección pasiva contra incendios". CEPREVEN, Asociación de Investigación para la Seguridad de Vidas y Bienes. Madrid, noviembre 2003.

FALLER, GEORGE (2004): "La identificación de riesgos y el diseño contra incendios". ICCP Arup Fire. Ponencia del Seminario "Análisis de riesgos y fiabilidad estructural. Ingeniería de fuego". IETcc - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, marzo 2004.