

ENSAYOS

de Resistencia al Fuego, de Vigas Laminadas Encoladas

Por el Dr. Gavin S. MALL

de la Timber Research and Development Association
(TRADA)

Es bien conocida la excelente resistencia al fuego de los elementos de madera de grandes secciones. Resulta de la lenta carbonización de la madera (prácticamente independiente de la importancia del incendio), de la transmisión de calor hacia el interior en razón de la capa carbonizada que hace de pantalla, y de la estabilidad dimensional no afectada por los cambios de temperatura, característica propia de la madera.

Conviene poder cifrar esta resistencia al fuego de elementos de madera y materiales derivados, no sólo basándose en los datos empíricos, para asegurar una neta ventaja con respecto a los materiales competitivos. Por este motivo se exponen los resultados de un ensayo destinado a determinar las propiedades de resistencia al fuego de vigas de madera. Se han utilizado los valores de disminución de la sección de las piezas expuestas al fuego ya publicados, así como un coeficiente de 2,25 entre las tensiones de rotura y las admisibles.

El informe permite tener información sobre las temperaturas alcanzadas en las piezas de madera de grandes dimensiones, que en futuros estudios va a emprender TRADA.

Se ha realizado un ensayo de resistencia al fuego en 4 vigas de madera laminada de $228 \times 139 \times 3.600$ mm. La resistencia al fuego prevista es de 43 minutos, adoptando una velocidad de carbonización de 0,64 mm. por minuto y un coeficiente de seguridad de 2,25. Fueron utilizados 36 termopares para medir la temperatura en

diferentes posiciones en el espesor de las vigas y estos resultados han servido para calcular la velocidad media de carbonización al fin de los ensayos (0,73 mm por minuto).

El informe da estados de flechas entre apoyos y los resultados se discuten brevemente.

La conclusión principal es que para un período de alrededor de una hora se puede prever la resistencia al fuego utilizando las hipótesis aquí expuestas.

PLAN DEL INFORME

- Introducción.
- Objetivo del informe.
- Materiales y métodos.
- Resultados y discusión.

1.—Introducción

La madera es resistente al fuego:

- Por su pequeño coeficiente de dilatación térmica.
- Por la formación de una capa carbonizada aislante de la parte interna que evita degradaciones rápidas en profundidad.

Si se da una cierta pérdida de sección de una viga expuestas al fuego, se puede calcular aproximadamente la resistencia al fuego de este elemento.

Si la velocidad de degradación es conocida, teniendo en cuenta valores más elevados sobre las aristas y más pequeños bajo la capa de carbón, se pueden determinar las resistencias mecánicas, en todo instante de la exposición al fuego.

Si se fija una relación entre la tensión admisible y la tensión de rotura, se puede prever esa rotura.

El estudio se ha basado en una velocidad de carbonización de 0,64 metros por minuto para estudiar las pérdidas de sección de una viga expuesta al fuego en las condiciones normalizadas de tiempo y temperatura. Esta velocidad se ha elegido como la media de numerosos ensayos efectuados en diversas especies y en condiciones variables. Antes de tomar como fijo este valor convendrá comprobarlo, pues se conoce mal la influencia de las cargas aplicadas a los elementos expuestos al fuego sobre la velocidad de carbonización.

2.—Objetivo del ensayo

El objetivo principal es comprobar la validez de las hipótesis hechas en materia de resistencia al fuego de vigas de madera cargadas, y sometidas a las condiciones normalizadas de tiempo-temperatura.

3.—Materiales y método

Cuatro vigas laminadas de abeto de 228×139 mm. encoladas con colas de resorcinol—formaldehído con uniones de testa—dentadas y acondicionadas a un 13,3 % de humedad.

Se han colocado 9 termopares en cada viga. Las vigas están dispuestas en un horno y se han podido hacer las medidas deseadas.

4.—Resultados y discusiones

4.1. Resistencia al fuego.

Minutos	Observaciones
00	Comienzo del ensayo.
04	Formación de una capa carbonizada.
06	Inflamación de las partes bajas de las vigas.
18	Inflamación de toda la superficie de la viga expuesta al fuego.
37	Las vigas soportan todavía su carga.
52	La viga núm. 2 está ligeramente combada.
53	La viga núm. 2 se derrumbó.
	Terminación del ensayo.

Ante la imposibilidad de continuar el ensayo después del derrumbamiento de la viga núm. 2, pues hubo que apagar el fuego, por el desgaste que esto ocasionaría al material, no se poseen resultados admisibles en cuanto al tiempo de derrumbamiento de las otras 3 vigas.

Sin embargo, el derrumbamiento de las vigas 1 y 3 se produjo cinco minutos después de que se terminó el ensayo.

4.2. Curvas de progresión de la temperatura en las vigas.

La temperatura aumenta lentamente tanto cuando la madera está intacta como cuando está degradada, pues tiene coeficientes de conductividad térmica pequeños. Además, la madera en condiciones higrométricas normales contiene una cantidad apreciable de agua que tiene gran calor específico y de vaporización.

Estas consideraciones explican que a los cinco minutos el horno tenga una temperatura de 500°C. y la madera sólo de 100°C. La temperatura de la madera se estabiliza hasta que se evapora toda el agua; después esta temperatura aumenta con velocidad creciente hasta los 500°C. del horno, temperatura a la cual se forma carbón sobre la superficie de la madera.

La velocidad de aumento de la temperatura varía con la dimensión de las piezas de madera y la profundidad a la que está situado el termopar, pero la marcha de la curva permanece siempre igual.

Se pueden interpretar las diferentes curvas obtenidas y se llega a la conclusión de que:

- El aumento de la temperatura es más lento en profundidad que sobre la superficie.
- Que es más pequeño lejos de los extremos de la viga; la posición lateral de los termopares tiene una influencia más pequeña que la posición en profundidad.

4.3. Velocidad de carbonización.

Si la temperatura a la que la madera comienza a arder (de coloración seguida de la formación de una capa carbonizada) es de 300°C., es posible dar las etapas de la progre-

sión de la carbonización a partir de las temperaturas registradas.

Los valores tomados han permitido trazar una curva de velocidad de carbonización, que da una velocidad media 0,73 mm/mín. en lugar de los 0,64 mm/mín. previsto. Pero parece que este valor elevado sólo se dé en la viga 1, los de las otras vigas se parecen más a los tomados como hipótesis.

Como la madera no pirolizada bajo la capa carbonizada presenta irregu-

laridades de superficie, si hay figuras, éstas tienen poca influencia en la capa carbonosa, pero son ciertamente responsables de las variaciones de velocidad de carbonización en la misma viga. De una viga a otra las variaciones son debidas por una parte a las variaciones de la madera misma y por otra a las condiciones de diferente temperatura en el horno.

La influencia de la posición lateral de los termopares puede ser confirmada por las siguientes cifras:

Distancia del termopar en mm.				
lateralmente →	13	25	70	
verticalmente ↓				
6	11,2	—	25,9	Tiempos en minutos para alcanzar 300°C. en diversos puntos.
13	19,7	17,3	30,3	
19	—	22,8	42,2	
25	—	32,2	47,5	

La medida de las velocidades de carbonización está grandemente influida por el punto donde se midan; el calor se difunde en dos direcciones. Será necesario utilizar un aparato más complejo para evaluar esta velocidad con más seguridad.

4.4. Flechas en las vigas.

Se han tomado en el punto medio. Se producen a los 10-15 minutos y crecen rápidamente a todo lo largo del ensayo. La rotura se produce a los sesenta minutos.

4.5. Resistencias mecánicas y previsión del derrumbamiento.

El método de cálculo consiste en que basándose en una velocidad de carbonización de 0,64 mm/mín. se puede calcular la sección residual de la viga después de un cierto período de exposición al fuego.

Este cálculo aplicado a una viga expuesta al fuego durante 43 minutos, muestra que el Momento de Flexión en la rotura es aproximadamente igual al Momento de Flexión admisible de la viga antes del ensayo.

Este tipo de cálculo no tiene en cuenta las degradaciones de la madera bajo la capa carbonizada causadas por las altas temperaturas, degradaciones que no se pueden apreciar con

precisión, pero que seguramente no afectan más que algunos minutos la resistencia al fuego y pueden ser despreciados.

A los 43 minutos previstos por los cálculos, y al cabo de los cuales se produce el derrumbamiento, es necesario sumar 3 ó 4 minutos durante los que el horno y la viga aumenta en temperatura hasta el nivel de carbonización.

El derrumbamiento de la viga se produce a los 53 minutos, es decir, 6 después del tiempo que se había calculado. No se ha podido obtener un tiempo válido para las otras vigas.

Las razones de estas disparidades pueden ser, entre otras, que se hicieron mal las hipótesis, en particular el factor 2,25 que puede no ser el exacto. Sin embargo, las diferencias entre las resistencias al fuego calculadas y las reales, muestran que la velocidad de carbonización en el ensayo hasta la rotura para la primera viga es menor que la velocidad media establecida.

5.—Conclusiones

5.1.—El método de previsión de la resistencia de vigas laminadas expuestas al fuego en el momento de los ensayos, con 3 caras expuestas, basándose en una velocidad de car-

La Protección en las Cepilladoras

Un elemento cortante que gira, y necesariamente en parte al descubierto es peligroso; sin embargo, en el caso de la cepilladora el tomar unas precauciones, muchas de ellas elementales y todas necesarias, puede si no eliminar, sí disminuir sustancialmente el riesgo de accidentes.

Desde luego la primera precaución es no usar árboles cuadrados sino cilíndricos. Un árbol cilíndrico deja para la misma separación de mesas un agujero mucho menos abierto, disminuyendo por tanto la gravedad de los posibles accidentes. Tal es la peligrosidad de estos árboles que en muchos países la legislación prohíbe su uso, desde luego España se encuentra entre ellos.

— Asegurarse antes de emprender un trabajo de la altura de cepi-

— Proveer a la máquina de protectores.

Con relación a los protectores vamos a señalar aquí tres tipos universalmente aceptados.

1.º Protector de listón regulable. (Fig. 1)

Para el rendimiento óptimo de este protector es necesario que las piezas a cepillar sean de igual anchura y grosor al menos en series importantes. En efecto, como puede observarse en la figura 1 consis-

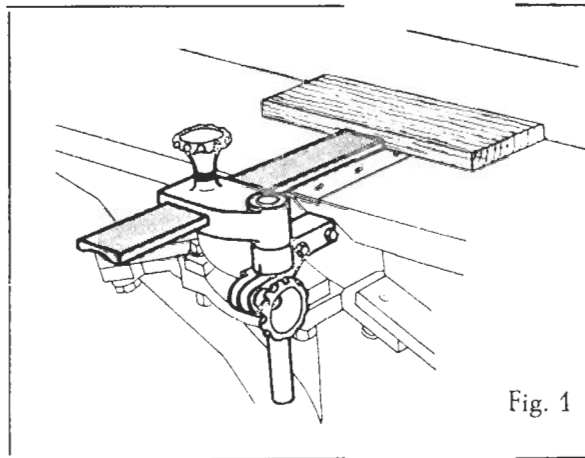


Fig. 1

(Las figuras se han tomado del libro «Bois. Caractéristiques. Usinage. Utilisations Diverses», Eyrolles, París.)

llado y comprobar que la mesa no se ha desajustado durante el trabajo anterior.

- Evitar volver la pieza atrás pasando sobre las mesas, salvo en piezas pesadas o muy largas.
- Evitar usar piezas con fibras muy retorcidas o que presenten nudos muertos.
- No trabajar jamás con mangas anchas, bufandas o prendas flojantes.
- Inmovilizar el árbol portacuchillas o desconectar la máquina de la red durante el cambio y calibrado de las cuchillas.
- Para el cepillado de piezas pequeñas, usar empujadores.

te en tapar con un listón la zona de árbol que no se usa, por tanto, a cada cambio de anchura se debe regular. Si las piezas son poco gruesas y muy anchas pueden hacerse pasar por debajo del listón.

2.º Protector tipo Schrader. (Fig. 2)

Está constituido por una placa de madera que puede girar alrededor de un eje perpendicular al plano de las mesas y que está unida al cuerpo de la cepilladora.

El plano del protector es paralelo a la mesa y se coloca a unos 5 mm. de ella.

bonización de 0,64 mm/mm., con las aristas redondeadas con un radio igual al grosor de la capa carbonizada, y basándose en una tensión de rotura de 2,25 veces la tensión admisible, permite hacer una estimación prudente de la resistencia al fuego.

5.2.—El tiempo previsto para llegar a la rotura era de 43 minutos, la rotura se produjo a los 53 minutos. Basándose en una velocidad de carbonización lineal a partir del momento en que el horno está a 300°C. (4 minutos después de puesto) el cálculo da en tiempo 6 minutos menos de resistencia.

5.3.—Las otras vigas dan unos resultados concordantes con la precedente; las situadas en el centro del horno se derrumban 5 minutos después de acabado el ensayo, la última viga parece más resistente, pero puede ser por no estar repartido el calor uniformemente dentro del horno.

5.4.—Los termopares situados en las vigas dan las informaciones sobre la progresión de la carbonización y la elevación de la temperatura en el interior de la madera hasta que no es posible detectar el proceso de desarrollo de la carbonización en un cierto estado del ensayo.

5.5.—Las temperaturas tomadas permiten establecer cuál es la velocidad de carbonización (basándose en una temperatura de carbonización de 300°C.), e indicar el efecto de la posición lateral con respecto a los extremos de la viga.

5.6.—Después del ensayo se calcula que la velocidad media de carbonización que se establece después de la elevación de temperatura, es de 0,73 mm/min., pero no es función final. Este valor es ligeramente más elevado que el previsto.

5.7.—La deformación de las vigas es progresiva y previsible. La velocidad de deformación de las vigas está en relación con el derrumbamiento que sigue; pero no se ha podido obtener la cifra que mide la deformación en el momento del derrumbamiento.

(Este documento fue presentado por la TRADA en las reuniones de la C. E. I. Bois de París, noviembre 1968.)

En la posición de reposo la parte curva del protector es tangente a la guía de la cepilladora y tapa totalmente al árbol portacuchillas.

La forma del protector debe ser tal que, sea cual fuere la anchura de la pieza a cepillar, la parte descubierta del árbol no sea superior a esa anchura, es decir, el árbol siempre debe estar cubierto.

Cuando se está trabajando, el punto de tangencia de la parte curva del protector debe de estar situado sobre el árbol.

Cuando haya pasado la pieza, el protector debe de volver a su posición inicial por medio de un resorte o por un contrapeso (como en el caso de la Fig. 2).

Es muy útil para piezas de poca anchura en máquinas de dimensiones pequeñas.

3.º Protector automático de puente. (Fig. 3)

Es una combinación de los dos anteriores, es decir, un desarrollo en círculo y un puente.

Es automático y no necesita más que un calibrado manual muy simple. Puede dejar libre la mesa para el cambio de las cuchillas.

Se compone de una carcasa, cuya forma facilita la variación en altura, que está fija por un brazo articulado a un eje solidario de una plantilla cogida al borde de la mesa. El conjunto está equilibrado por un contrapeso regulable.

Se completa con un pequeño protector desarrollable durante el paso de la madera que se oculta bajo la carcasa y que es mantenido por un resorte.

