

Edificios de media altura en madera y fuego

Líneas de investigación

BIRGIT ÖSTMAN, TRÅTEK, SWEDISH INSTITUTE FOR WOOD TECHNOLOGY RESEARCH
Box 5609, S-11486 STOCKHOLM, SWEDEN

LA INTRODUCCIÓN DE CÓDIGOS BASADOS EN EL COMPORTAMIENTO PERMITE UNA MODIFICACIÓN DE LOS EXTREMAMENTE RESTRICTIVOS PUNTOS DE VISTA DE LA MADERA AL FUEGO QUE TODAVÍA ARRASTRAN MUCHOS PAÍSES. LA MAYORÍA DE LOS CÓDIGOS DE SEGURIDAD SE BASAN EN *MÉTODOS PRESCRIPTIVOS*. PROPORCIONAN SEGURIDAD EN EL INCENDIO ORDENANDO UNA COMBINACIÓN DE REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, LIMITACIÓN EN DIMENSIONES Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN. SIN EMBARGO NO ESTABLECEN CÓMO, SIGUIENDO ESOS REQUERIMIENTOS, SE CONSEGUIRÁ LA DESEADA SEGURIDAD EN EL INCENDIO PORQUE NUNCA SE DEFINEN SUS OBJETIVOS. LOS CÓDIGOS *BASADOS EN EL COMPORTAMIENTO* EN CAMBIO DEFINEN OBJETIVOS DE SEGURIDAD EN TÉRMINOS CUANTIFICABLES Y EL GRADO DE CUMPLIMIENTO PUEDE SER DEMOSTRADO. COMBINAN MÉTODOS DE INGENIERÍA CON PRINCIPIOS DE SEGURIDAD.

Los reglamentos nórdicos han sido parecidos durante mucho tiempo, pero la introducción parcial de *códigos de comportamiento* ha incrementado las diferencias, contrariamente a lo que se espera de organizaciones de seguridad muy similares. Actualmente los edificios de madera en altura sólo se permiten en Suecia, aunque

Resumen de las jornadas sobre fuego del Grupo Cost E5 celebradas en Espoo (Finlandia) los días 2 y 3 de junio de 1997



Edificio de 5 plantas en Seattle (EEUU) construido con entramado de madera

se están estudiando en Noruega y Finlandia. En Dinamarca se ha comenzado a trabajar hace poco en la norma. Dado que estas normas deberán basarse en criterios racionales, a largo plazo se espera que vuelvan a ser similares, lo mismo que en el resto de Europa, con diferencias únicamente en los niveles de seguridad aceptados.

Dos etapas en el incendio

Hay dos etapas en el escenario del incendio: la inicial y la de desarrollo (ver glosario). El contenido del edificio es de la mayor importancia en ambos casos, pero actualmente no se contempla, aunque sí los revestimientos superficiales en su reacción al fuego, que se limitan en vías de evacuación. En un incendio plenamente desarrollado (flashover), las estructuras portantes

y los elementos de separación son importantes para circunscribir el fuego al lugar de origen.

Hablando en general, las estructuras de madera pueden lograr un buen comportamiento en su resistencia al fuego, mientras que en los revestimientos tienen peor reacción aunque sus valores sean difíciles de cuantificar.

Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de los entramados de madera fue objeto de un informe COST reciente (ver nº 187 del Boletín).

Exposición al fuego estándar

Casi todos los reglamentos están basados en la exposición al fuego de acuerdo a la, así llamada, curva estándar de tiempo-temperatura. Dicha curva está recogida en la mayoría de los códigos nacionales (ISO 834) y especifica una

exposición con temperaturas siempre crecientes que los edificios deben soportar por un periodo de tiempo determinado (p. ej. 60') cumpliendo los requerimientos de aislamiento, integridad y/o capacidad portante. La capacidad portante es decisiva para su resistencia al fuego: cuanto menor carga (ver en el Glosario Severidad del incendio) se aplique, más resistencia al fuego tendrá. Tal relación está mapeada en proyectos de investigación en curso pero faltan por obtener modelos simples de estructuras elementales.

La duración al fuego de muros no-portantes puede modelizarse por métodos de adición de componentes, considerando el elemento constructivo como sucesivas capas de materiales (tableros, aislantes...) y su resistencia será la suma de las contribuciones parciales.

Junto a la exposición estándar al fuego, los fuegos naturales-paramétricos y los detalles constructivos sirven para comprobar y reforzar la resistencia al fuego de la madera en la construcción

(ver *Boletín 187, págs. 56 a 58 donde la autora presentó una ponencia similar*).

Necesidades de investigación

Las principales necesidades están relacionadas con exposición al fuego paramétrico/natural, siendo la carga de fuego y la ventilación

(factor de apertura) los dos parámetros principales para caracterizarlo. También es importante disponer de valores de la densidad de carga de fuego en diferentes clases de ocupación.

Escaleras

La principal preocupación en muchos países es utilizar escaleras de madera. Las exigencias funcionales son que deben permanecer en uso en caso de fuego para todo el edificio. Por esta razón se tienden emplear materiales no combustibles. Se necesita investigar si las escaleras de madera pueden tener un buen comportamiento al fuego.

Intercambiabilidad de resultados

Los entramados son sensibles a los cambios de los materiales que los componen. Las prácticas constructivas cambian de un país a otro y las diferencias que, en la práctica, se aprecian entre diferentes países se deben a los componentes disponibles en cada sitio.

Se necesitaría un gran trabajo de documentación para probar, cuando exista, la equivalencia de componentes entre las mismas soluciones constructivas.

Modelizado y manuales de diseño

La mayoría de la información disponible está basada en ensayos individuales sin mayor

ligazón a experiencias prácticas. Es preciso desarrollar modelos que tengan en cuenta todos los factores para poder sintetizar la información dispersa que se maneja. Se necesitan manuales de diseño que hagan operativos los datos de investigación disponibles.

Reacción al fuego

Revestimiento interior de las superficies

Reacción significa respuesta de los materiales al ataque inicial e incluye propiedades como la ignición, extensión de la llama, calor o liberación de humos. Propiedades todas relevantes en el desarrollo temprano del fuego cuando interviene la madera, tanto en la cara interior como en la exterior.

Revestimientos de paredes y techos

El uso de revestimientos combustibles como la madera se restringe en los reglamentos para evitar el crecimiento del fuego, pero la contribución de este elemento es a veces excesivamente enfatizada. Esto no quiere decir que se impongan ciertas limitaciones, p. ej. en las vías de evacuación. El tema se está desarrollando actualmente en un proyecto de la UE pero los reglamentos nacionales son todavía la única forma de control.

Los ensayos de unidades completas al fuego es el mejor medio de cuantifi-

car las exigencias ya que el tiempo de ignición es el método más simple y obvio para medir el crecimiento del fuego.

Las conclusiones más interesantes de estos ensayos realizados a escala real (con normas ISO y ASTM) son las siguientes:

- La mayor sollicitación de los revestimientos combustibles se produce en paredes y techo y muy poco cuando sólo es el techo;
- Cuanto mayores son las habitaciones disminuye la influencia de los revestimientos.

Suelos

La exposición de los suelos es menor que en paredes y techos. Los suelos de madera pueden, por tanto, usarse en áreas con exigencias restrictivas: al menos en los países nórdicos los suelos de madera cumplen los más altos requerimientos. Sin embargo nuevos ensayos de fuego se están desarrollando dentro de CEN.

Investigación en revestimientos interiores

Se han desarrollado modelos para cuantificar la contribución a la carga de fuego del edificio, aunque deben hacerse las siguientes observaciones:

- Es muy raro emplear el mismo material en paredes y techos;
- La carga de fuego es pequeña en las vías de escape;
- En pisos y oficinas el contenido del edificio es



el elemento dominante en la carga de incendio frente a la contribución del revestimiento que es pequeña;

- En locales grandes la carga de fuego es pequeña (se limita al contenido) por lo que no están justificadas regulaciones sobre revestimientos;
- Las exigencias sobre revestimientos deben estar en relación con el riesgo de incendio del contenido del edificio ya que su contribución está a menudo sobreevaluada.

Revestimientos exteriores. Fachadas

Las fachadas de madera en edificios de altura están limitadas en la mayoría de los países, p. ej. en todos los nórdicos, a excepción de Noruega. Sólo se permite una cantidad limitada de madera, a menudo en torno al 20%, sin contemplar, por ejemplo, el empleo de rociadores. Sin embargo la contribución de los materiales de fachada no es bien conocida, ya que depende del flujo de las llamas, de la caída de elementos, etc.

Necesidades de investigación en fachadas

El escenario a considerar es la ignición con llamas que sobresalen por la ventana. La posible influencia de las llamas ascendentes ha de determinarse para establecer una base de datos científica. La cuestión crítica es la influencia de estas

llamas en la ventana los pisos superiores.

Se deben estudiar soluciones para reducir el riesgo de las fachadas: modificación estructural, salientes que dificulten el lamido de la llama, madera tratada con productos ignífugos (aunque no parece haber en el mercado productos con una probada durabilidad a la intemperie).

Los fuegos de fachada son, por otra parte, los más fáciles de apagar por las brigadas anti incendio.

Rociadores

Los rociadores son los medios de protección activa más comunes. Son muy frecuentes en Norteamérica tanto en edificación residencial como en oficinas. Las exigencias de protección pasiva pueden al menos parcialmente ser descuidados, especialmente en revestimientos, ya que serán extinguidos desde el primer momento. En Finlandia y Suecia pueden colocarse fachadas de madera en aquellas casas donde exista un sistema de rociadores. Sin embargo en el resto de Europa la experiencia es limitada.

Valoración de riesgo

Con los modernos métodos de valoración de riesgo se pueden desarrollar sistemas más efectivos. Las diferentes combinaciones de protección activa y pasiva proporcionarán adecuados niveles de seguridad.

Códigos europeos

HILMER RIBERHOLT. COWI. 15, PARALLELBEJ. 2800 LYNGBY. DINAMARCA

COMO CONSECUENCIA DE UNA CONSULTA REALIZADA A TODOS LOS PAÍSES MIEMBROS DE COST E5 SE HAN RECOGIDO LOS DATOS DE LOS CÓDIGOS DEL FUEGO DE LOS SIGUIENTES PAÍSES: FINLANDIA, FRANCIA, HOLANDA, NORUEGA, PORTUGAL, ESPAÑA, SUECIA Y REINO UNIDO. LOS DATOS DE DINAMARCA Y HESSEN (ALEMANIA) HAN SIDO CUBIERTOS POR EL MISMO AUTOR. SE ANALIZAN LOS EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE MÁS DE 5 ALTURAS, POR OTRO LADO LOS MÁS CORRIENTES.

Clasificación y terminología

Casi todos los países tienen su propia terminología y sistema de clasificación, por lo que es importante establecer una equivalencia entre los términos como paso previo para un estudio comparativo. El sistema común europeo establece las siguientes siglas: R, estabilidad, E, integridad e I aislamiento. Estos símbolos se acompañan con información de exigencias de combustibilidad de los materiales en cuestión. Así una estructura con una resistencia al fuego de 60' donde se permiten materiales combustibles tienen el símbolo REI-C-60.

Estructuras portantes

Existe mucha diferencia entre las exigencias de los distintos países. En algunos, como Noruega, es posible construir casa más altas que las indicadas si se encuentra suficiente-

mente documentada su seguridad al fuego. Debe también documentarse que su capacidad portante y estabilidad se mantendrá durante el tiempo de evacuación.

En algunos países, por ejemplo Holanda, Noruega y Suecia se distingue entre estructura principal y estructuras. Si la estructura principal falla, entonces todo el conjunto colapsará mientras que la estructura secundaria sólo afectaría a determinadas zonas. Los muros interiores se consideran como estructura principal mientras que los forjados, fachadas y cubiertas no lo son.

Consideraciones sobre el cálculo de riesgos

En todos los países europeos el cálculo de riesgos ha sido la base para las exigencias de incendios. Secciones de incendio y compartimentaciones son conceptos que se han introducido a resultados de este cálculo y viceversa, en varios países se ha exigido un cálculo más detallado después de preparar las exigencias de fuego: han considerado más elementos con influencia en el desarrollo del incendio. En Finlandia, Francia y Alemania las exigencias no dependen sólo de la altura del edificio sino también de su tamaño: éstas se incrementan con el número de apartamentos.

En Holanda las exigencias de fuego dependen de la carga de fuego, con el límite 500MJ/m². Para un edificio de 3 plantas la resistencia al fuego es de 60', y 90' para una carga de fuego mayor.

En Francia la accesibilidad de las brigadas de incendio se contempla como un asunto importante. Aquí la máxima altura del último piso es 28 m, medidos desde la rasante.

Estructuras no portantes

La encuesta realizada comprendía construcciones portantes y no portantes. Ya que las primeras son las que tienen preferencia, las segundas no suelen tener una exigencia mayor de 30'.

Superficies

Las exigencias de las superficies se han dividido dependiendo de la inflamabilidad y la propagación de la llama, para controlar la fase inicial del incendio y la tendencia a su desarrollo.

En Holanda, desde rasante hasta una altura de 2,5 m debe emplearse un material incombustible mientras que el resto del muro puede ser de madera. En el Reino Unido la superficie de la fachada puede ser de madera excepto las superficies cerca de los bordes hasta 1m. En ambos casos la progresión de las llamas debe contrarrestarse con un

material no combustible en las áreas críticas. Además la capacidad de las superficies para proteger la estructura es también considerada y mencionada específicamente en los códigos de algunos países.

Para todos los países, excepto Dinamarca y Suecia, las exigencias para las superficies interiores y techos son las mismas en un número determinado de pisos. En esos dos países se requiere que el techo sea de un material más robusto (no combustible) que las paredes. Las exigencias de paredes y techos pueden cumplirse por la madera en un 70% de los países, incluso en cinco plantas. En la figura 2.3 se muestra esto junto con el número de plantas donde la madera se emplea en fachadas y superficies de vías de evacuación.

Las exigencias habituales para suelos pueden cumplirse con pavimentos de madera, aunque en algunos países se exige materiales incombustibles.

Las fachadas en algunos países pueden construirse con superficie de madera, tanto natural como con tratamiento ignífugo. Esto es válido para más de 5 plantas y están de acuerdo reglamentaciones en 6 de 10 países.

En vías de evacuación y escaleras están las más elevadas exigencias y se prescribe la incombustibilidad de los

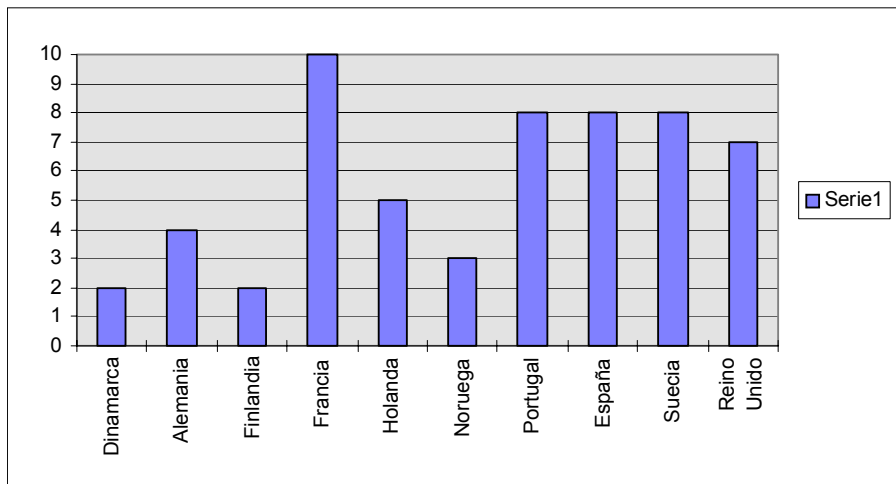


Figura 2.1 Número máximo de pisos permitidos cuando la estructura es de madera

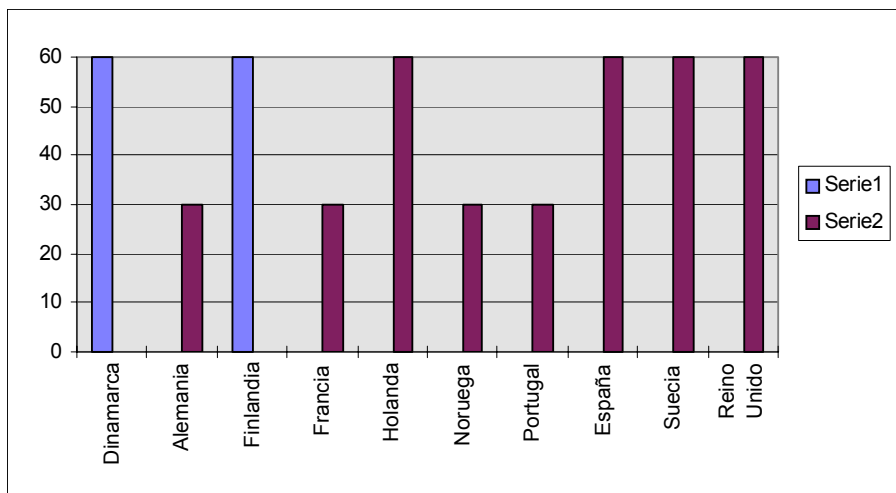


Figura 2.2 Exigencias de resistencia al fuego de las estructuras portantes en edificios de tres alturas. La serie 1 indica que se requieren materiales no combustibles y la 2 no.

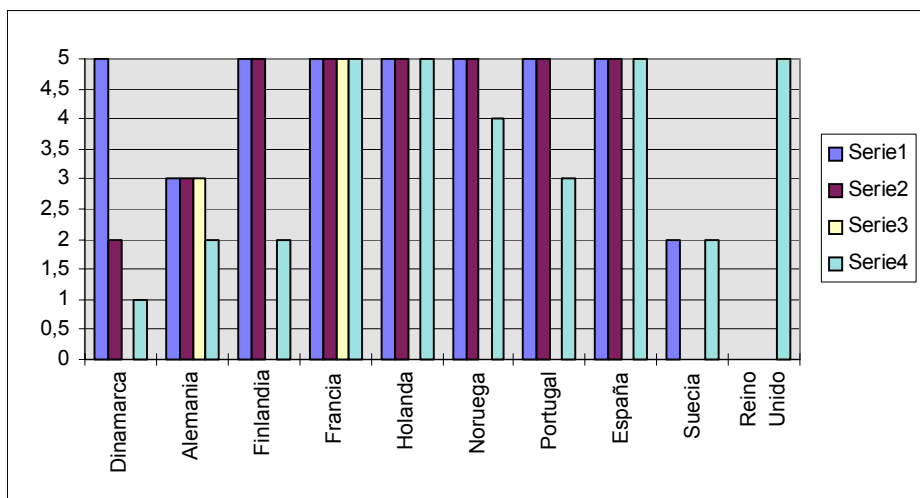


Figura 2.3. Máximo número de pisos para los cuales puede emplearse madera natural en su superficie. Series 1: Muros interiores. Series 2: Techos, Series 3: Vías de evacuación y escaleras y Series 4: Fachadas

materiales. En unos pocos países se puede utilizar madera ignifugada.

Conclusiones

Del estudio de los códigos europeos sobre estructuras se concluye que diez países permiten o exigen:

- las estructuras de madera son permitidas desde los 2 a los 10 pisos. La mayoría de los países permiten entre 5 y 8 plantas

- los edificios de entramado de madera de 3 plantas exigen una resistencia al fuego de 30 ó 60 minutos. La mayoría de los países exigen 60'.

- las exigencias más corrientes para edificios de dos plantas es de 30-60' y para 3-5 plantas, 60' y se permite el uso estructural de la madera.

- Para las vías de evacuación la mayoría de los países exigen una resistencia al fuego que depende del número de plantas.

2: REI-W-15 3: REI-W-30, 4 y 5: REI-W o NC-60

En relación a las superficies, la mayoría de los países permiten madera en los bloques de pisos donde las vías de escape estén revestidas de materiales incombustibles.

La superficie de las fachadas pueden ser de madera hasta tres plantas y por encima de esto la mayoría exigen materiales incombustibles.

El Código británico

GEOFFREY T. HARDING
DEPARTMENT OF ENVIRONMENT
PETER J. STEER
P.J. STEER, CONSULTING STRUCTURAL
ENGINEER

Desde 1965 los códigos de construcción se han publicado unificados en Inglaterra y Gales, Escocia e Irlanda del Norte. Hasta ese momento cada ciudad, pueblo y distrito tenía sus propias leyes. Hasta 1991, los edificios de entramado de madera se limitaban a tres plantas por las exigencias de resistencia y combustibilidad. Los cambios en los códigos permiten ahora construir hasta 8 plantas en Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte mientras que en Escocia se limita a 5 plantas. El BRE ha preparado un ensayo gigante en el laboratorio de Cardington para examinar diversos problemas en estos elevados edificios, incluyendo el análisis de los diferentes códigos para explorar el uso de materiales combustibles, por ejemplo la madera, en donde sea posible.

Una fecha clave: 1666

En septiembre de 1666 el Gran Incendio de Londres devastó 160 ha de la City. La mayoría de los edificios destruidos eran de madera. Como consecuencia de esto, varios decretos sobre construcción condicionaron esencialmente a la madera en los siguientes 300 años. El Decreto de 1774 consolidó el de 1666, y los posteriores de 1707 y 1709 establecían básicamente que:

- los muros de separación entre viviendas debían ser incombustibles
- los aleros debían ser también incombustibles y los dinteles de madera no deberían exponerse en las fachadas. Los

perfiles de la carpintería debían retranquearse de la fachada 100 mm.

c) se colocarían muros de separación sobre la línea de cumbreras para prevenir la extensión del fuego a través de los tejados.

Cada ciudad y pueblo era responsable de sus propias leyes en relación a los edificios y aunque seguían las reglas generales de Londres, había sutiles variaciones que requerían por parte de los diseñadores un buen conocimiento de las ordenanzas.

Todas estas leyes locales fueron reemplazadas, primero por el Reglamento Edificatorio de 1965 antes mencionado, las normas escocesas de 1970 y las de Irlanda del Norte de 1979, muy similares entre sí.

El propósito de todas estas reglamentaciones era esencialmente proteger la vida y no al edificio ni su contenido. Esto conlleva la resolución de:

- vías de evacuación
- Limitación de la propagación interna del fuego (revestimientos y estructura)
- Limitación de la propagación externa del fuego
- accesos y servicios para las brigadas de

incendio

Los dos últimos puntos se consideran esenciales en todas las regulaciones desde 1667.

Para cada uno de estos 4 aspectos los tres documentos dan una orientación sobre los medios a utilizar para su cumplimiento, aunque se admiten enfoques alternativos procedentes de la ingeniería de la seguridad. Entre las fórmulas aplicables están por ejemplo muros de separación entre casas de 60' de resistencia, pero admitiendo materiales de construcción combustibles, en escaleras de servicio, etc.

Nada ha cambiado en Inglaterra y Gales hasta la nueva revisión de 1985, pero en 1991 se eliminaron las exigencias de incombustibilidad para todos los elementos excepto las escaleras. Con una resistencia de 60' es posible llegar hasta 20 m de altura sobre rasante, es decir, 8 plantas. Si fuera económica y estructuralmente posible se podría llegar a 30 m con 90' y por encima de 30 m con 120'. Mientras en Escocia el Reglamento de 1970 sigue estableciendo un máximo

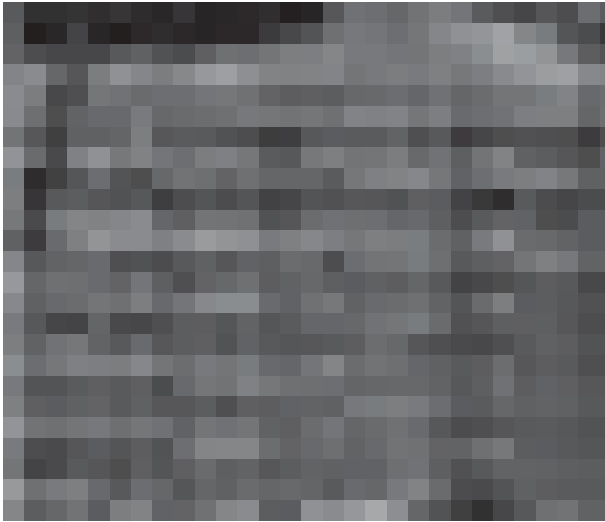
de 4 plantas con materiales combustibles pero con muros separadores incombustibles al igual que las escaleras y los muros exteriores.

Ingeniería del fuego: proyecto 2000

Los métodos para alcanzar la resistencia de 60' en entramados de madera, suelos fachadas y muros de compartimentación son bien conocidos. Lo que no lo es tanto son los efectos acumulativos de calor y humo.

El propósito del proyecto *Entramado 2000* es dar respuesta a estos interrogantes. Para estudiarlos se ha construido un edificio de madera de 6 plantas en Cardington, cuya construcción comenzó el 14 de julio de 1997 y pretende:

- armonizar los contenidos de los códigos:
 - acuerdo sobre la altura máxima para materiales combustibles en separaciones y compartimentaciones para periodos de tiempo determinados.
 - acuerdo sobre el uso de materiales combustibles en todos los muros y suelos en la altura máxima que se fije.
- demostración de que las escaleras y rellanos



Edificio de madera de seis plantas construido en el laboratorio de Cardington del BRE para ser sometido a ensayos de resistencia estructural, acústica, térmica y fuego.

de madera son aceptables en accesos únicos (pueden emplearse materiales combustibles si el edificio es servido por dos o más escaleras) c) ensayar los huecos de escalera y obtener información sobre registros de humos con particular interés en el efecto chimenea en construcciones elevadas.

d) la expansión del fuego en la cavidad existente entre el entramado de madera y el revestimiento de ladrillo o mampostería. El propósito final es eliminar las cajas de escalera de ladrillo, hormigón o mampostería (que son pesadas y de construcción lenta, aunque sean incombustibles y rigidizadoras del conjunto) por sistemas de entramado convenientemente protegidos. El proyecto TF 2000 prevee un revestimiento

de tableros de madera-cemento en lugar del típico de cartón-yeso para comprobar además la mejora al impacto. En este edificio se ha planteado la sustitución de rellenos en las cavidades para aislamiento por otras soluciones para evitar problemas de colmatación y permanencia en el tiempo.

Conclusiones

La eliminación de la exigencia de incombustibilidad para muros y forjados de 1991 ha mejorado la competitividad de los sistemas de entramado hasta un máximo de 8 plantas pero se deben estudiar otros aspectos tales como la estabilidad y movimientos debidos a la humedad. Posiblemente el ensayo TF 2000 acabará con 300 años de arrinconamiento de las estructuras de madera.

Valoración del riesgo

SVEN ERIK MAGNUSSON
HÅKAN FRANZICH
JOHAN LUNDIN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA
SEGURIDAD AL FUEGO DE LA
UNIVERSIDAD DE LUND

En el departamento de ingeniería de la seguridad al fuego de la universidad de Lund está a punto de terminarse un proyecto de investigación de tres años sobre la valoración de riesgos de incendio. Se presentan aquí las metodologías empleadas y unos pocos resultados de este proyecto, pionero en su campo.

La unión entre el diseño basado en el cumplimiento de requisitos de seguridad y valoración del riesgo está solamente esbozado. Se ha hecho un intento de relacionar varios métodos de evaluación de riesgo, tales como los analíticos, seguridad en un único escenario, método del índice β y el multiescenario, etc. La incertidumbre, la susceptibilidad y su importancia son asuntos centrales en la utilización de los resultados obtenidos con este método. Los métodos de análisis de incertidumbre se relacionan con los formatos de diseño práctico.

Los principios generales para el diseño de la seguridad al incendio basados en cálculos han sido publicados durante los últimos años en diversos códigos y reglamentos sobre el fuego. En ellos se indican dos métodos principales.

En el primero, el diseño puede basarse en un único escenario y en una sola ecuación o programa de ordenador determinístico. Su mayor debilidad es que ninguna de las guías da ningún consejo práctico sobre cómo escoger los factores de seguridad

(también llamados coeficientes parciales, factores de incertidumbre, etc.) en orden a alcanzar un determinado nivel de seguridad; normalmente las guías contienen una imprecisa declaración de que los factores de seguridad deben seleccionarse de acuerdo las circunstancias. El más extendido es el denominado método β .

En el segundo método se asume que el riesgo (individual o social) se calcula sobre la base de un gran número de escenarios, normalmente estructurados en un árbol de sucesos. También aquí son imprecisas en la práctica e interpretación de los resultados.

Los procedimientos de evaluación del riesgo en el diseño de seguridad frente a incendios presentan algunas ventajas de interés. Proporcionan un fundamento científico y racional del riesgo y un sistema para elegir la reducción y ubicación de recursos. Por encima de las incertidumbres resulta un grado de riesgo creíble.

No existe por el momento consenso en la interpretación de los resultados y el enfoque varía de una especialidad de la ingeniería a otra. Unido a este problema está el que el público tiene sus propios criterios de evaluación del riesgo.

Nuevos diseños para la seguridad

MATTI KOKKALA. VTT BUILDING TECHNOLOGY. FIRE TECHNOLOGY. FINLANDIA

El diseño basado en el cumplimiento de medidas de seguridad es un método ingenieril de protección contra el fuego basado en conjuntar los fines y objetivos de seguridad, la evaluación probabilística y determinística de escenarios de fuego y su valoración cuantitativa, utilizando las herramientas de ingeniería, metodologías y criterios de comportamiento. La aceptabilidad se basa sólo en el riesgo o en valores límites que dependen del tipo de fuego en relación al riesgo. Muy a menudo el diseño se verifica por medio de cálculos aunque no se excluye la experimentación. En este artículo se discuten los beneficios, posibilidades y exigencias del diseño de la seguridad basados en el comportamiento.

Códigos basados en el comportamiento

El diseño de seguridad al fuego es y debe estar muy ligado a las normativas y ordenanzas oficiales. El incendio es un suceso raro en los edificios pero muy pocos se escapan sin algún que otro pequeño fuego accidental: de hecho los mayores desarrollos en la tecnología y en los códigos han sido por desgracia consecuencia de la 'ingeniería mortuoria'. Los cambios en las exigencias son consecuencia de mitigar el azar después de fuegos espectaculares con múltiples pérdidas. Los

últimos 25 años el progreso en la seguridad frente a incendios ha permitido, sin embargo un cambio más racional.

Actualmente en todo el mundo se aprecia un cambio de los reglamentos contra el fuego desde los métodos ordenancistas hacia los de comportamiento. Al menos en términos legales el cambio ya se ha producido por ejemplo en Inglaterra y Gales, Holanda, Nueva Zelanda y Suiza.

En Finlandia los nuevos reglamentos recién aprobados elevan el *enfoque de comportamiento* al mismo nivel que el *enfoque prescriptivo*. La estrategia es, por tanto, introducir la nueva generación de reglamentos 'después del 2001'. Un amplio proyecto de investigación (TOPA) que se lleva a cabo en el VTT para facilitar la transición.

Los códigos basados en el comportamiento contienen los siguientes niveles:

1. *Fines sociales* relativos al nivel de seguridad al fuego esperado en un edificio. Por ejemplo 'proteger a los ocupantes frente al desarrollo del fuego con riesgo de la vida' (Código neozelandés de 1992)
2. *Objetivos funcionales* que determinan cómo un edificio o sus sistemas funcionales alcanzan un objetivo social, por ejemplo, 'un edificio proporcionará

medios que prevengan la extensión del incendio de tal forma que los ocupantes puedan ponerse a salvo sin sufrir los efectos del fuego' (idem)

3. *Requisitos de cumplimiento* que establecen el nivel a alcanzar por parte de los materiales, elementos, sistemas, componentes, factores de diseño y métodos de construcción en orden a alcanzar los objetivos sociales y funcionales, por ejemplo 'para inhibir el desarrollo del fuego dentro del edificio, las superficies de los materiales de paredes y techos ofrecerán una adecuada resistencia a la extensión de la llama sobre sus superficies y tendrán, si arden, un ratio de calor liberado razonable' (Reglamento del Reino Unido 1985)

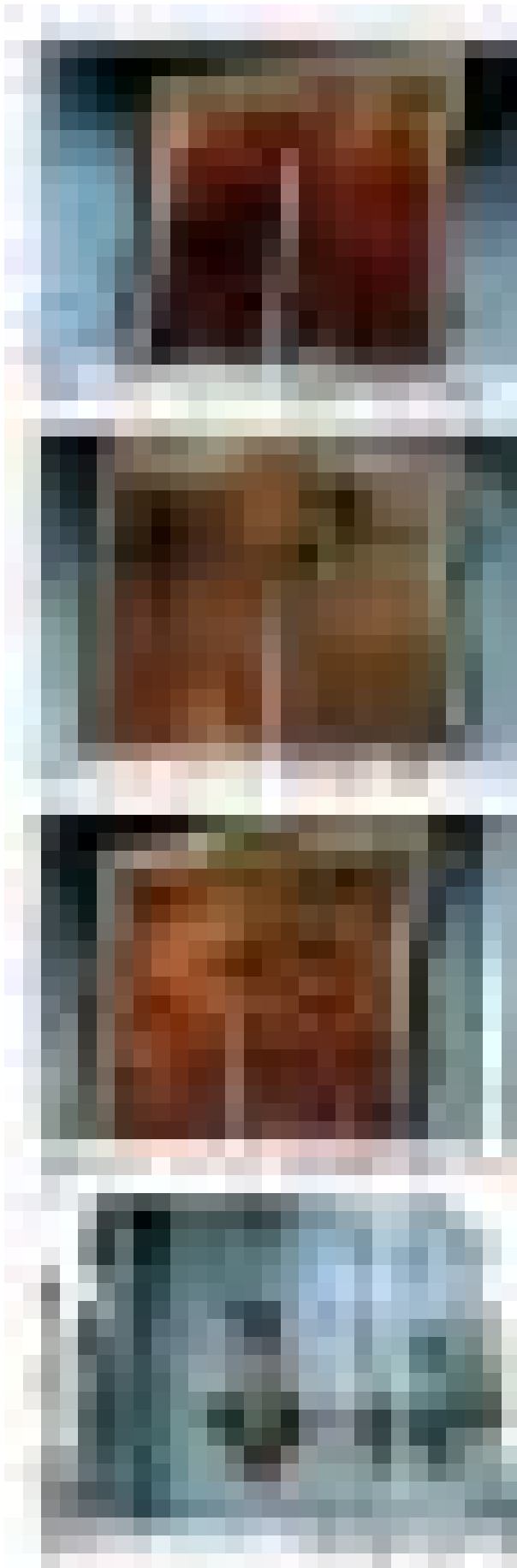
4. *Criterios de cumplimiento* que expresen las medidas frente a las que serán comparadas los materiales de construcción, conjuntos, sistemas, componentes y factores de diseño. Los métodos constructivos serán evaluados según su capacidad para cumplir determinadas exigencias de comportamiento, p. ej. 'el nivel de gases no será más bajo de $1,6 \text{ m} + 0,1 \text{ H}'$ (Reglamento sueco, 1994).

- 5a. *Soluciones aceptables* para cumplir con los objetivos sociales, funcionales y de comportamiento, o
- 5b. *Métodos aceptables* tales como normas, instrumentos o prácticas

de ingeniería tales como programas de ordenador que simulan modelos de fuego y que han sido evaluados positivamente entre técnicos, investigadores y docentes por su capacidad de generar resultados consistentes de cara al prescriptor o al promotor de viviendas.

También los reglamentos prescriptivos contienen decenas de requisitos de comportamiento. El nivel 4, criterios de comportamiento, ha sido tradicionalmente expresado sólo en términos de clases de comportamiento ante el fuego, por ejemplo exigiendo que 'las superficies deben ser clase B 1'. No se han expresado criterios de cumplimiento para el edificio completo o de sus partes. Por ejemplo el diseño de las vías de evacuación ha sido meramente descriptiva; las reglas detallan el ancho y el largo basado en el número de ocupantes sin ninguna consideración sobre el grado de crecimiento del fuego.

La combinación de tablas con requisitos sobre los componentes puede considerarse una solución aceptable para el conjunto del edificio. De esta forma las desviaciones de esos requisitos sin considerar las consecuencias pueden tener una influencia significativa en el nivel de seguridad global. Los reglamentos tradicionales y sus documen-



tos de apoyo han incluido normalmente como métodos aceptables sólo los de ensayo de evaluación de componentes. El empleo de los métodos de cálculo han sido posible con autorizaciones puntuales, igual que las evaluaciones basadas sólo en opiniones o en el recto juicio. Notables excepciones han sido los métodos utilizados en el diseño de estructuras metálicas que utilizaban curvas paramétricas para describir la exposición, un intento que ha sido muy aceptado al menos en los países nórdicos y ahora en otros países a través del Eurocódigo 1. Con el desarrollo de nuevas herramientas de ingeniería ha sido posible cuantificar la seguridad global del edificio sobre criterios *de comportamiento* como 'la gente debe poder salir antes de que las condiciones sean peligrosas'. Esto supone un gran cambio de filosofía desde los criterios de *prescriptivos* del tipo 'los forjados portantes deben cumplir los requisitos de resistencia de 60' de acuerdo a los ensayos normalizados'.

Motivos para el cambio

¿Porqué se está cambiando? Ya se han enumerado algunos beneficios de las reglamentaciones basadas en comportamiento. La SFPE de EEUU también analiza los beneficios de

este tipo de reglamentaciones en los siguientes puntos:

- Mejor red de trabajo y comunicación entre políticos, prescriptores y proveedores de servicios de protección, sistemas y materiales;
- Mejor entendimiento sobre lo que debe prescribirse;
- Mayor efectividad de costes;
- Fomento del desarrollo de herramientas y técnicas para evaluar el cumplimiento;
- Permite a los arquitectos e ingenieros más flexibilidad en el empleo de diseños innovativos, técnicas y materiales;
- Aumenta el reconocimiento de la ingeniería de protección al fuego como una disciplina independiente y la mejora.
- Beneficios económicos-efectividad de costes y facilidad de innovaciones
- Flexibilidad en construcción-mejor acceso a los edificios como objetivo
- Niveles cuantificables de seguridad-mejor entendimiento de los riesgos y resolución de códigos

Evaluación del riesgo en Suiza

M. MONTANA
INSTITUTE OF STRUCTURAL ENGINEERING
ETH
ZURICH, SUIZA

La reglamentación suiza sobre el fuego permite alternativas a las reglas dadas en el código prescriptivo siempre que su equivalencia en seguridad pueda ser demostrada. En él explícitamente se reconoce la aplicación del método de evaluación del riesgo SIA DOC 81. El método es muy fácil de usar y es una herramienta muy útil para una rápida evaluación del riesgo.

Descripción del método

En 1960 el ingeniero Max Gretener de la Swiss Fire Protection Association de Zurich comenzó a estudiar las posibilidades de calcular el riesgo para edificios industriales y otras grandes construcciones. El método fue primeramente publicado en 1965 y se centraba en la necesidades de las compañías aseguradoras. En 1968 se propuso ampliar su espectro para poder ser aplicado a medidas de protección de incendios por parte de las autoridades competentes. En 1984 el método de evaluación SIA DOC 81 fue publicado como una derivación del trabajo de Max Gretener. El método fue completamente revisado por un equipo de miembros de VKF (asociación estatal de compañías de

seguros) y el BVD (representantes de la industria y de las compañías privadas de seguros) junto a la asociación suiza de arquitectos e ingenieros. Se puso especial énfasis en que el método fuera fácilmente comprensible por la policía especial del fuego, especialistas de seguros, ingenieros y arquitectos.

Es muy aceptado en Suiza y recomendado en la regulación estatal como una herramienta para evaluar y comparar el riesgo de incendio con conceptos alternos (combinación entre rociadores y detectores y protección pasiva).

El método se basa en la clasificación. No evalúa escenarios y analiza sucesos clasificando los elementos de un edificio y su compartimentación. Los factores de clasificación se basan en el conocimiento de expertos tras una encuesta amplia sobre las cargas de fuego (ver glosario) y las pérdidas del edificio. Consiste en la verificación del factor global de seguridad al fuego γ_{fire} con la expresión:

$$\gamma_{\text{fire}} = R_{\text{accepted}} / R_{\text{calculated}} > 1$$

verifica que el riesgo calculado en un compartimento dado es menor que el riesgo aceptado. Donde el riesgo aceptado (R_{accepted}) es función del número y movilidad de las personas involucradas y la compartimentación al fuego dentro del edificio.

El peligro potencial

P_{danger} es función de los siguientes parámetros:

- carga de fuego, densidad y distribución;
- Combustibilidad de las cargas de fuego;
- producción de humo;
- producción de agentes corrosivos;
- combustibilidad de los componentes del edificio;
- superficie del compartimento o del edificio;
- planta del compartimento a analizar/altura del edificio;

La reducción del riesgo por la aplicación de medidas de protección M_{applied} es función de:

- Medidas básicas que incluyen:
 - calidad y nº de aparatos de protección activa (extintores, hidrantes, equipos de abastecimiento de aguas...)
 - fiabilidad y calidad del suministro de agua
 - distancia al hidrante más cercano
 - calidad de la instrucción del personal en caso de incendio
- Medidas activas, que incluyen:
 - fiabilidad de los detectores y aparatos de medida

- fiabilidad y velocidad de transmisión de la alarma
- fiabilidad, velocidad y calidad de las brigadas contra incendios
- fiabilidad y calidad de los sistemas de inhibición del fuego
- presencia de humo y aparatos extractores de calor
- Medidas pasivas y estructurales:
 - nivel de la resistencia al fuego de la estructura
 - calidad de la fachada como barrera a la propagación del incendio
 - nivel de resistencia al fuego de la compartimentación
 - características de la ventilación de la compartimentación frente al fuego

Estudiando estas cuestiones el método tiene la ventaja de no reclamar un trasfondo puramente científico, pero al ser un sistema de clasificación empírico está experimentado en multitud de casos prácticos. Se apoya en un riguroso análisis estadístico.



Modelos de valoración riesgo-coste

D. YUNG
NATIONAL FIRE LABORATORY, NATIONAL
RESEARCH COUNCIL OF CANADA
V. R. BECK
CENTRE FOR ENVIRONMENTAL SAFETY
AND RISK ENGINEERING (MELBOURNE-
AUSTRALIA)

El coste de la protección contra incendios es un componente importante en el presupuesto final de un edificio. Con el desarrollo de los principios de ingeniería y el enfoque global de comportamiento los diseños basados en estas técnicas ofrecen ahorros sustanciales y mayor seguridad para las personas.

En este artículo se explica un programa de investigación conjunto entre entidades canadienses y australianas para desarrollar un modelo de valoración riesgo-coste.

Muchos países, y en concreto Nueva Zelanda, Reino Unido y Australia van hacia reglamentos basados en comportamiento abandonando el sistema ordenancista. Canadá se encuentra en esta misma línea.

El objetivo es permitir una mayor flexibilidad en el diseño y una protección a un coste más ajustado. La introducción del nuevo enfoque depende, sin embargo, del desarrollo adecuado de modelos por ordenador. Canadá y Australia están colaborando en un proyecto conjunto desde 1987 que ya se está introduciendo en el país americano con el nombre de FIRECAM (Fire Risk Evaluation and Cost

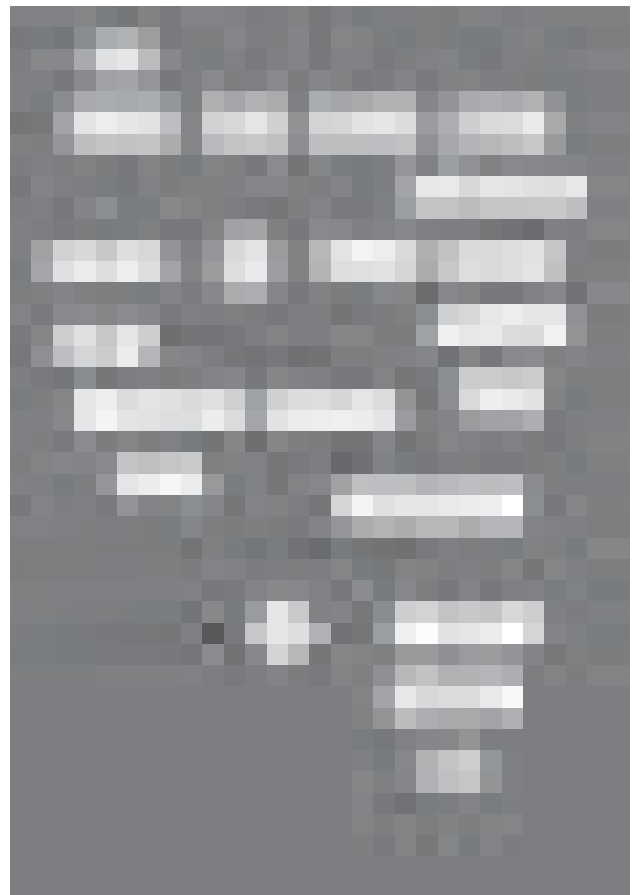
Assesment Model). En Australia se ha traducido ya en un cambio de código. El modelo puede cuantificar los riesgos para las vidas como resultado de todos los incendios posibles, los costes de protección y las pérdidas. Comparándolo con el grado de cumplimiento requerido en un código prescriptivo o en otro de comportamiento, el modelo puede evaluar si un determinado diseño cumple las exigencias o si es equivalente en cumplimiento de riesgo de vidas con el de conformidad al código. Adicionalmente valora los costes del incendio de cada diseño en particular. Actualmente el modelo se puede aplicar a edificios comerciales y de viviendas. En el futuro, otras versiones lo serán para otras aplicaciones. El modelo usa datos estadísticos para predecir la probabilidad de suceso en escenarios de fuego: comienzo del incendio, fiabilidad de los detectores, modelos matemáticos para el desarrollo de escenarios de fuego, desarrollo y extensión del fuego y evacuación de los ocupantes. El riesgo de vida en un escenario se calcula con la velocidad

del desarrollo del fuego y la de evacuación. El riesgo global será la suma de los riesgos de todos los posibles escenarios del edificio.

Descripción del modelo

La valoración se hace sobre dos parámetros: el riesgo para la vida esperado (ERL) y el coste del incendio esperado (FCE). El ERL es el número de muertes esperadas sobre el total de ocupantes del

edificio y el FCE incluye los costes de capital de los sistemas activos y pasivos de los sistemas de protección, su mantenimiento y las pérdidas provocadas por un posible incendio. El ERL es una magnitud cualitativa mientras que el FCE es cuantitativa. La separación de ambos parámetros elimina el problema de asignar un valor a la vida humana y es aplicable tanto en el cumplimiento de códigos ordenancistas o



prescriptivos como de cumplimiento de requisitos *o de comportamiento* puesto que se puede asignar un valor de efectividad de coste. Para el cálculo de ambos valores el programa considera la interacción dinámica entre crecimiento del incendio, propagación, movimiento de humos, conducta humana y respuesta de las brigadas de incendio. Los cálculos se realizan sobre una serie de submodelos que interactúan entre sí como se indica en la figura 1.

Diseño del modelo de incendio

Se emplean seis fuegos en el compartimento donde se produce el incendio:

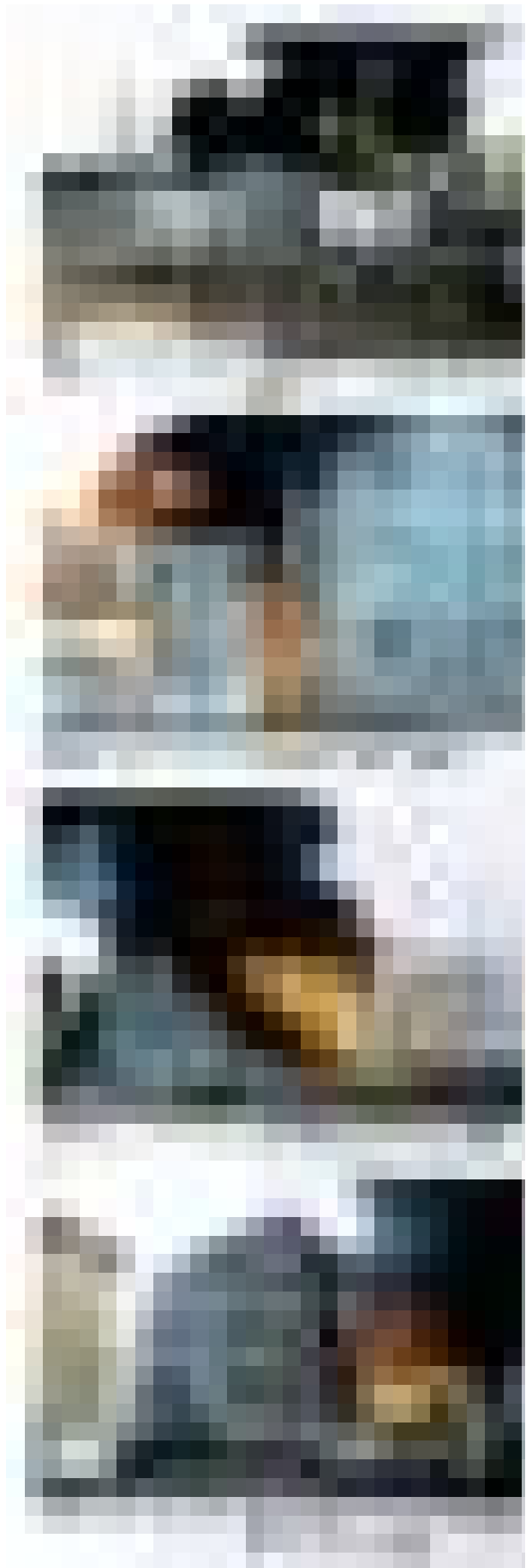
1. Fuego sin llama y puerta abierta
2. Fuego sin llama y puerta cerrada
3. Fuego con llama sin flashover y puerta abierta
4. Fuego con llama sin flashover y puerta cerrada
5. Flashover con puerta abierta
6. Flashover con puerta cerrada

La probabilidad de que ocurran se basa en un análisis estadístico. El modelo evalúa el efecto acumulado de todos los probables escenarios de fuego en la vida del edificio. El número de escenarios de fuego es producto del número de diseños de fuegos, el número de viviendas y ocupantes (despiertos o dormidos).

El conjunto de submodelos que se estudian son los siguientes: incendio en crecimiento (grado de combustión, temperatura de la habitación, producción y concentración de gases tóxicos), movimiento del humo (expansión del humo y de los gases tóxicos y momento en que las escaleras son impracticables), detección del fuego (probabilidades de detección), alarma y respuesta de los ocupantes, actuación de las brigadas anti-incendio (tiempo de llegada y efectividad), riesgo de humos, duración de la evacuación, riesgo de personas atrapadas y número de muertos, elementos de borde (fallo de elementos constructivos (muros, suelos y puertas), extensión del fuego a diferentes partes del edificio, pérdidas de vidas humanas, pérdida de bienes, costes de equipos anti-incendio).

Supuestos y limitaciones

Debido a la complejidad del fenómeno descrito se aplican algunos supuestos conservadores a los modelos matemáticos. Además no se cuenta con datos estadísticos completos de todos los modelos descritos, que deben ser validados con la práctica. Como resultado, las predicciones han de tomarse una opción conservadora.



Estudios japoneses recientes

YUJI HASEMI
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND
ARCHITECTURAL ENGINEERING, WASEDA
UNIVERSITY (TOKYO-JAPÓN)

Las últimas dos décadas se han desarrollado en Japón múltiples ensayos a escala real de edificios sometidos al sismo y al fuego. Se describen aquí estos ensayos, sus antecedentes y sus conclusiones.

Antecedentes

Como muchos visitantes occidentales pueden observar la madera es un material de construcción muy frecuente en Japón. Aunque desde los años 70 se ha impuesto el acero y el hormigón, más del 70% del parque de viviendas en Japón es de madera.

Las frecuentes guerras en Japón durante los periodos Edo y Meiji produjeron más de 100 grandes incendios en Tokyo. Además los terremotos, como el de Kanto en 1923 donde murieron 100.000 personas, produjeron la mayoría de sus daños en los incendios que provocaron. La mejora en la seguridad a incendios en Japón ha sido una preocupación constante en su investigación en los últimos tiempos. A partir de 1933 en que se realizaron los primeros ensayos a escala real en la Universidad de Tokyo y junto con los realizados durante la II Guerra

Mundial se pusieron las bases para la normativa aplicable en el nuevo urbanismo japonés. Sin embargo la rápida extensión del fuego se atribuyó más modernamente, en estos ensayos, al rápido colapso de la estructura, que ofrecía así al fuego un material virgen para su crecimiento. Colapso provocado por el tamaño de los huecos y la debilidad estructural de las juntas. Por este motivo los reglamentos limitaron el uso de la madera alrededor de los años 60 y hasta los años 70 no se volvieron a estudiar técnicamente los métodos para retardar el colapso de los entramados de madera.

A finales de los años 60 se empezó a fabricar en Japón tablero de cartón-yeso. Este hecho propició el desarrollo de soluciones de protección a los clásicos entramados de madera. La crisis del petróleo a principios de lo 70 impulsó el empleo de energías alternativas y en concreto favoreció la entrada de los sistemas americanos de 2 x 4" a base de paneles, más fácilmente protegibles que los entramados pesados japoneses de 'post&beam'. En la tabla 1 se detallan los principales ensayos realizados desde 1970. Estos ensayos se realizaron con el deseo de modificar las normas que afectan a la promoción

pública de viviendas. No se incluyen en esta tabla las experiencias aportadas por incendios realmente ocurridos.

Reglamentación contra incendios en edificios de madera

Desde 1949 existe un código nacional cuya aplicación depende de las oficinas locales de la construcción. La interpretación de este código se deja a un departamento oficial a quien está permitido admitir nuevos sistemas y nuevos materiales no contemplados en el código si se acredita su idoneidad por técnicos independientes. Gracias a esto se han podido construir casas de madera de más de dos

Tabla 1. Ensayos a escala real realizados en Japón

Año	Construcción	Altura/estilo	Superficie	Muros	Resultado	Organismo
1976	2 x 4	dos plantas indep.	40 m ² + 40 m ²	ext: tablero madera-cemento int: 12 mm tablero de yeso	No colapso en 60'	SCI Univ. de Tokyo
1978	2 x 4	dos plantas urbano		int: tablero madera-cemento	Extinguido en 100'	2 x 4 Building Ass.
1979	post&beam	dos plantas indep.	81 m ²	ext: tablero madera-cemento más mortero	colapso en 15'	Houtec
1981	prefabricada	dos plantas		ext: siding tablero madera-cem.		Misawa Homes
1986	post&beam cubierta	dos plantas indep.	109 m ²	ext: siding incombustible	No colapso en 50'	Houtec
1986	post&beam desnudo	dos plantas indep.	109 m ²	ext: 20 mm mortero int: tablero yeso	No colapso en 40'	Houtec
1987	2 x 4	tres plantas indep.		ext: siding incombustible	No colapso en 60'	BRI + 2 x 4 Ass.
1987	post&beam cubierto	tres plantas	282 m ²	ext: protegida a fuego		Houtec
1991	2 x 4	tres plantas apartam.	268 m ²	ext: 1h quasi resist fuego int: separación	No colapso en 60'	BRI + Housing Fed.
1996	2 x 4	idem	335 m ²	idem	No colapso en 165'	BRI

plantas en áreas urbanas pero en distritos clasificados en relación al riesgo de incendio. Se exige para esto una determinada separación entre edificios y una limitación en materiales y huecos de fachada.

I+D en edificios de madera y fuego

Los resultados más importantes son los siguientes:

1. Casas aisladas con el sistema 2 x 4"

Las normas sobre este sistema fueron introducidas oficialmente en 1974. En 1978 se ensayó un edificio de dos plantas más desván de almacenaje con resultados correctos y con revestimiento de fachadas ignífugo en 1979. Como consecuencia fueron aprobadas para su financiación como viviendas de protección oficial y clasificadas urbanísticamente como 'quasi resistentes al fuego', pero no se incluyeron en el código nacional de construcción.

2. Casas de entramado de madera de tres plantas

Este tipo de construcción comenzó a popularizarse en las áreas urbanas durante los años 80 y se preparó un ensayo a escala real realizado con el sistema 2 x 4". Se obtuvo una resistencia de 30' en muros exteriores a pesar de que en el ensayo se habían dejado muchas

ventanas abiertas. Finalmente fué clasificado para distritos de 'quasi protección contra el fuego' y se incluyó en el código nacional, siendo la primera relajación que se obtuvo para los edificios de madera. Además se acumularon muchas experiencias de comportamiento de diversos elementos constructivos.

3. Edificios de apartamentos de tres plantas

Los anteriores ensayos favorecieron la confianza de los promotores en este tipo de edificios y se planteó su aplicabilidad a edificios de apartamentos. Sin embargo se suscitaban nuevas cuestiones a añadir a lo que se había experimentado anteriormente: comportamiento al fuego después de terremotos, comportamiento ante fuegos de origen urbano, durabilidad de la resistencia al fuego. En 1990 se realizaron ensayos combinados terremoto-fuego observándose un decrecimiento del 20%. En 1991 se realizaron nuevos ensayos para la calificación urbanística de distrito protegido o quasi-protegido contra el fuego. En 1996 se realizó un ensayo a escala real en un escenario de incendio de origen urbano obteniendo resultados satisfactorios.

Entramado ligero en Canada

J.R. MEHAFAY
FORINTEK CANADA CORP.
VANCOUVER, BRITISH COLUMBIA-CANADA

Los reglamentos prescriptivos a menudo son incómodos y limitan soluciones de diseño atrevidas. A la vez se están expandiendo las viviendas de entramado de madera en altura y los códigos exigen un cumplimiento adecuado ante el fuego. Para introducir mayor flexibilidad en el proyecto y construcción Canadá está en fase de adaptar reglamentos basados en el comportamiento. Forintek ha trabajado en el desarrollo de modelos de predicción del comportamiento de los conjuntos construidos con entramado ligero de madera.

Introducción

Cada vez es más reconocido el papel del entramado de madera en edificios de media altura en ciudades de alta densidad de población. Sin embargo choca con el prejuicio de la gente en cuanto a la combustibilidad de la madera en lo que parece comprometer la seguridad del edificio. Como la mayoría de los países han tenido prohibida la construcción con madera en altura y el cuerpo de conocimientos científicos sobre el fuego ha sido limitado hasta hace poco, se han seguido reglamentos muy conservadores y restrictivos. Sin embargo en años recientes el conocimiento de la dinámica del fuego y la disciplina de

la seguridad ante incendios ha madurado y ahora es posible ofrecer soluciones de ingeniería a muchos problemas. El objetivo final sería adoptar estrategias basadas en códigos de comportamiento en lugar de en códigos prescriptivos. A pesar de que los reglamentos prescriptivos son más exigentes, en Canadá este tipo de edificios no han tenido ningún problema, pero con el nuevo código se logrará la más flexibilidad de diseño y se abaratarían costes. Para conseguirlo se necesita mejorar determinadas herramientas ingenieriles.

El código canadiense

El National Building Code of Canada (NBCC) define un edificio residencial como cualquiera donde existan servicios para dormir, tanto viviendas como hoteles, locales universitarios, etc. Actualmente el 91% de la población en Canadá vive en edificios de 4 ó menos plantas (un alto mercado potencial de la madera). Se permite construirlos de entramado de madera siempre que se cumplan una serie de reglamentaciones sobre el uso de rociadores y a muros corta fuegos. La compartimentación ha sido hasta ahora la piedra angular de todo el sistema contra incendios (el muro debe tener una resistencia al fuego al menos igual a la de la estructura). Las opciones



de evacuación tienen una gradación creciente desde el apartamento, al corredor y la escalera. A partir de 1970 se empezó a introducir en los códigos regionales la exigencia de rociadores y a regular la inflamabilidad del mobiliario y materiales de acabado. A partir de ahí las estadísticas de muertes por incendio disminuyeron drásticamente (el precio /m² construido en Canadá oscila entre 700-910\$/m² en altura y 970/1180\$/m² en unifamiliar y el coste del rociador era sólo de 13\$/m²).

Desarrollo de modelos de resistencia al fuego
Tradicionalmente los

códigos han exigido a los elementos separadores y estructurales una aceptable resistencia al fuego y su demostración debía descansar en ensayos. Hoy los modelos matemáticos están empezando a proporcionar una alternativa flexible y barata. Por eso a partir del 2001 la NBCC adoptará modelos de predicción de comportamiento térmico y estructural. Por eso la industria de la madera está apoyando directamente proyectos de investigación en este campo. Forintek ha desarrollado un programa llamado WALL2D que predice la transferencia de calor a través de muros entramados con cerramiento de cartón-yeso.

Seguridad al fuego de fachadas

TUULA HAKKARAINEN Y ESKO MIKKOLA
VTT BUILDING TECHNOLOGY, FINLANDIA

El comportamiento al fuego de las fachadas de madera en casas de entramado en altura se ha estudiado en los países nórdicos gracias a un proyecto de investigación.

Para el caso de fuego exterior, el medio más eficiente para detener la propagación de las llamas fue la modificación estructural del perfil de la fachada. El tratamiento ignífugo retrasó considerablemente o paró la propagación del fuego. Basándose en el escenario de flashover el uso de la madera en fachadas debería limitarse al 20-50% del área total dependiendo de la localización del material. En casas con rociadores la madera puede emplearse con más generosidad. Se proponen para casas con esta instalación o sin ella criterios simples basados en los flujos de calor por las ventanas y posibles caídas de piezas para estimar la seguridad al fuego.

Introducción

El objetivo del proyecto es proporcionar las bases para una posible reforma del reglamento. Un principio básico dentro de una exposición al fuego determinada es asegurar la evacuación. Dado que las llamas se propagan por la fachada, el medio más rápido es de piso a piso a través de las ventanas. En este caso los parámetros críticos son la propagación de la llama, el flujo de calor y la caída de partes de la fachada. Algunos ensayos previos ya se han hecho en Suecia y

Canadá y existe una norma ISO que se está desarrollando actualmente.

En el escenario de la primera serie de ensayos los apartamentos se suponen equipados con rociadores. Consecuentemente se considera improbable un flashover que conduzca a una severa exposición al fuego. Se sitúa el fuego en un punto de la fachada (simulando por ejemplo una pila de basura que comienza a arder). Las series de experimentos se realizaron a media y a gran escala.

La segunda serie de ensayos pretendía comprobar la reacción al fuego de la fachada en el caso de flashover en un incendio producido en un compartimento de una vivienda sin equipo de rociado. En el post-flashover la exposición al calor de la fachada a la altura de la ventana del primer piso es del orden de 70 kW/m².

Casas con equipo de rociado

Se realizaron 25 ensayos de escala intermedia (1,2 x 2,9 m) con varios materiales y tratamientos y 6 estructuras de fachada a gran escala - dos y tres plantas - con piezas de 4,2 x 5,6 m y 4,2 x 8,1 m en el primer y segundo caso. El muro estaba constituido por el entramado de madera, tablero de cartón-yeso sobre rastreles de 9 mm, dejando una cavidad de

ventilación de 22 mm. El calor introducido fue de 100kW y el ensayo se paraba a la media hora o cuando el borde superior ardía completamente. Los resultados del ensayo aparecen en la tabla 1.

Casas sin sistema de rociadores

En este escenario se han desarrollado cuatro fachadas de 3,6 x 1,6 m. Durante el ensayo la fachada es expuesta a llamas procedentes de la ventana de la primera planta. El tamaño de la habitación donde se produce es de 4,0 x 2,6 x 2,2 m y el tamaño de la ventana es de 3,0 x 1,2 m.

Criterios propuestos

A la vista de los resultados de los ensayos se deduce que la extensión de la llama depende del escenario de incendio (tabla 3).

Tabla 1. Propagación de la llama en ensayos de escala intermedia

MUESTRA	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	240 cm
Tablas de Abeto pintadas (vertical)	1:30	1:55	2:55	9:15	10:30
Tablas de Abeto pintadas (horizontal)	4:20	5:50	7:30	8:30	8:50
Idem + tratadas RF (horizontal)	6:10	9:00	11:35	13:50	15:40
Idem + tratadas RF (vertical)	2:30	11:40	14:00	21:00	24:10
Idem + cortafuegos en cavidad	4:30	6:10	7:00	10:00	10:20
Tablas Abeto pintadas + volado 200 mm	0:45	1:15	no	no	no
Tablas de pino pintadas (vertical)	1:10	2:20	5:40	9:30	9:40
Idem + tratadas RF (vertical)	2:00	8:50	11:00	17:00	18:00
Idem + cortafuegos en cavidad	3:50	8:55	11:20	14:40	22:30
Tablas pino pintadas + volado 100 mm	1:45	3:30	10:55	11:10	11:25
Idem + volado 200 mm	1:10	2:20	no	no	no
Idem + ventana sobresaliente 300 mm	1:40	2:00	12:00	12:15	12:25
Idem + tapa metálica en canto inferior	1:10	2:00	no	no	no
T. aglomerado con barniz opaco	3:40	6:00	8:00	9:40	10:20
T. contrachapado con barniz opaco	3:50	5:20	6:30	7:20	8:00
Idem tratado RF contracara en fábrica	6:20	10:10	14:10	16:10	17:50
T. contrachapado pintado	3:00	4:10	5:00	5:40	6:40
Idem + tratado RF	4:00	6:10	7:50	9:10	10:15
T. aglomerado pintado	4:20	7:30	10:30	11:50	13:30
Idem + tratado RF	5:00	8:10	11:20	15:10	18:00
Tablero de Abeto sin cavidad	1:45	3:10	22:30	no	no
Tablero de Abeto sin tratamiento	5:20	7:40	9:15	10:20	10:50
Tablero de Abeto sin pintura	1:40	5:10	8:25	9:00	9:15
Tablero de Abeto sin tratamiento (Noruega)	22:50	no	no	no	no

Tabla 3. Resumen de características del escenario y criterios propuestos

Tipo de ensayo	Casas con rociadores Ignición externa	Casas sin rociadores Fuego en compartimento
Máxima exposición de calor	40 kW/m ²	70 kW/m ²
Tiempo de combustión	30 min	15 min
Criterios		
Caída de partes	No mayores de 0,1 m ²	No mayores de 0,1 m ²
Flujo de calor	< 15 kW/m ²	< 20 kW/m ²
Extensión del fuego	Menos del borde inferior de la ventana superior	No llegar a los aleros

Tabla 2. Propagación de la llama en ensayos de gran escala. La altura de medición es desde el borde inferior del material (50 cm sobre el nivel del suelo)

Probetas	Ignición	2ª planta borde inferior 240 cm	2ª planta borde inferior ventana 360 cm	3º piso borde inferior 510 cm	3º piso borde inferior ventana 630 cm	Borde superior muestra 510 ó 760 cm	Final del ensayo
L1	0:55	11:15	14:55	-	-	40:00	46:00
L2	0:50	34:10	no	-	-	no	47:00
L3	0:40	no	no	-	-	no	35:45
L4	0:40	20:20	32:00	45:20	52:30	63:10	65:00
L5	0:40	no	no	-	-	no	no
L6	0:50	9:50	11:40	-	-	51:50	60:00

Glosario

Cargas de fuego: energía latente susceptible de alimentar el inicio y el desarrollo de un incendio. Se distinguen diversos factores secundarios: materiales, tamaño, disposición y distribución, facilidad de acceso del comburente.

Protección activa: medios instalados para extinguir el incendio en primera instancia. Son de dos tipos: los detectores (alarmas) y extintores (extintores portátiles, sistemas de descarga y rociadores y sistemas de abastecimientos de agua). Se incluirían también las brigadas o cuerpos de bomberos.

Protección pasiva: Medidas permanentes para evitar que el incendio se inicie y se desarrolle (*reacción* al fuego de materiales, acabados y contenidos) o se propague (*resistencia* al fuego en estructura y compartimentación). Se evalúa con ensayos normalizados.

Evolución del incendio: depende de los materiales de construcción y acabados, del diseño del edificio (sectores y estructuras portantes) y del contenido de éste.

Fases del incendio: iniciación o preflashover, desarrollo o flashover y extinción o postflashover.

En la primera, *preflashover*, intervienen la inflamabilidad del material (intensidad crítica y potencial calorífico), la capacidad de propagación (radiación, convección y conducción del calor y propagación física de la llama), la velocidad de cesión de calor y combustión y la temperatura de humos y gases. La segunda fase, *flashover*, es la intensidad de la entrada en combustión simultánea y generalizada de los materiales, su realimentación y duración. Depende de los materiales y del diseño del edificio.

La tercera fase, *postflashover*, es el decrecimiento por ausencia de combustible o por compartimentación adecuada.

Seguridad contra incendios: técnicas en las que se incluyen múltiples análisis. Sólo existen modelos parciales.

Severidad del incendio: indica la magnitud, severidad y extensión. Sus factores son la carga de fuego (energía de alimento latente de los materiales y su ubicación) y se mide por su poder calorífico en cal/gr, la ventilación (que aporta el comburente pero puede también eliminar calor por humos), la pérdida de calor (ventilación, aislamiento, etc.) y la geometría del local.