

Concluye con este artículo iniciado en la revista 184, el análisis de las casas de madera en cuanto al comportamiento al fuego, resistencia al viento, sismo y aislamiento acústico. Se resumen algunas ponencias de la acción Cost E5 celebrada en octubre de 1996 en Stuttgart.

El fuego en las estructuras de madera

En muchos países existen Códigos de construcción muy restrictivos respecto a la construcción con entramado ligero. La mayoría de ellos se basan en métodos legales: prescriben la seguridad por una combinación de requerimientos tales como materiales, dimensiones y sistemas de protección pero no establecen cómo éstos alcanzan esos niveles de seguridad.

En cambio en los códigos que definen metas específicas de seguridad frente al fuego en términos cuantificables puede demostrarse el grado de cumplimiento: combinan métodos ingenieriles con principios de seguridad.

Las regulaciones del fuego en países nórdicos han sido similares desde hace mucho tiempo pero la introducción parcial de requerimientos legales ha incrementado la diferencia entre códigos, contrariamente a lo que podría esperarse del similar nivel de desarrollo de los cuerpos de lucha contra el fuego en estos países. Los edificios de madera de varias alturas sólo se permiten en Suecia, existen documentos sometidos a estudio en Noruega y Finlandia, y en Dinamarca sólo se ha comenzado a trabajar en su regulación recientemente. A

Edificios de media altura en madera (y 2)

largo plazo se espera una homogeneización global europea.

Actualmente se está desarrollando un proyecto de investigación a nivel de todos los países nórdicos cuyos resultados provisionales se dan continuación, estando prevista la publicación definitiva en el primer semestre de 1997.

Exposición al fuego

Casi todas las reglas de diseño de elementos de madera se basan en la curva estándar de tiempo-temperatura. Esta curva se define en la norma ISO 834, la cual especifica que para una exposición al fuego con incrementos de temperatura constantes deben cumplirse por un determinado tiempo -por ejemplo 60 minutos- requerimientos de aislamiento, integridad y/o resistencia. En muchos países existen elementos estructurales de madera que cumplen estos criterios, aunque no exista intercambiabilidad entre ellos

ya que determinados cambios de componentes (por ejemplo en el aislante) pueden hacer variar completamente sus resultados.

Resistencia de las estructuras de madera

La capacidad resistente de estas estructuras expuestas al fuego y la magnitud de la carga es decisiva para la resistencia final; aspectos éstos que son investigados actualmente con objeto de obtener modelos simples, fácilmente repetitivos para diseñar con estructuras ligeras.

Ya se ha llegado, por ejemplo, a dos diseños de muros exteriores y de carga, tabiques y forjados resistentes 60' empleando materiales convencionales. Los diseños han sido ensayados en laboratorios especializados.

Aunque el Eurocódigo 5 ya recomienda, tras una ausencia de años, algunos criterios de diseño de las juntas frente al

fuego, se ha avanzado comparando los resultados de laboratorio de uniones clavadas madera/madera con las teorías de comportamiento plástico de Johansen. Los resultados son positivos, quedando pendiente el estudio de las uniones con pernos, pasadores y tornillos.

Fuegos naturales-paramétricos

La introducción de escenarios naturales-paramétricos ha proporcionado herramientas para comprobar la resistencia global de estos edificios de madera en un incendio masivo, con determinadas condiciones independientemente del fallo de determinados elementos singulares, como un muro o una columna, frente a un posible colapso global. Quedan por analizar todos los aspectos del incendio: severidad del fuego, activación de alarmas, acción de los bomberos, etc.. El empleo de incendios naturales-paramétricos nos capacita para lograr mejores resultados económicos comparado con los métodos tradicionales de exposición al fuego, llegando a modelos de diseño simples.

Esta investigación se está desarrollando paralelamente en Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Suecia.

Detalles constructivos

La ponencia recomienda el cuidado de la protección por diseño creando elementos estancos al fuego en muros, escaleras, forjados, etc. Es importante frenar corrientes de aire, compatibilizándolas con la necesidad de ventilación de las estructuras de madera frente a la humedad (especialmente en áticos y cubiertas).

El empleo en fachadas de revestimiento de madera se limita, en edificios de varias alturas, en muchos países (por ejemplo en todos los nórdicos a excepción de Noruega) a un 20% de la superficie. El problema se estudia actualmente en el VTT de Finlandia.

BIRGIT ÖSTMAN, JÜRGEN KÖNIG Y
JOAKIM NORÉN
TRATEK. ESTOCOLMO. SUECIA

Diseño frente al fuego en edificios de madera en altura

La Comisión Europea aprobó el 21 de diciembre de 1988 la directiva de productos de la construcción. El término 'producto de la construcción' se refiere al que de forma permanente se incorpora al edificio y debe cumplir una serie de requisitos esenciales entre los que se encuentra la seguridad ante el fuego.

En concreto la construcción debe diseñarse y construirse de tal manera que en el caso de incendio:

- La capacidad portante pueda asumirse durante cierto tiempo
- La generación y la extensión del fuego y el humo será limitada
- Se limitará también el traspaso del fuego a los edificios vecinos
- Los ocupantes podrán abandonar el edificio o ser rescatados por otros medios
- Se considerará la forma de acceso de los equipos de rescate

Para este 'requisito esencial' se escribió un Documento Interpretativo por un Comité técnico especial con vistas a exigir: ensayos con normas (CEN TC 127), métodos de cálculo armonizados (CEN TC 250) y una combinación de ambos.

Resistencia y reacción al fuego

La armonización de los ensayos y sistemas de clasificación tenderá a la unificación. Un intenso trabajo se ha realizado hasta llegar a unificar los criterios de 'reacción al fuego'.

Los elementos estructurales de madera pueden presentar una notable resistencia al fuego aunque se trate de un material combustible (capa protectora de carbón superficial retardadora) por lo que la ca-

pacidad portante se mantiene un cierto tiempo y es calculable. La combustibilidad como único parámetro no dice nada sobre la seguridad de un edificio completo o de sus elementos. El CEN TC 127 ha trabajado mucho en normas de ensayo de todo tipo de elementos: no-portantes, portantes, instalaciones, cubriciones de elementos estructurales y revestimientos protectores.

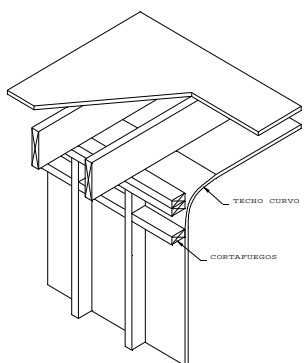
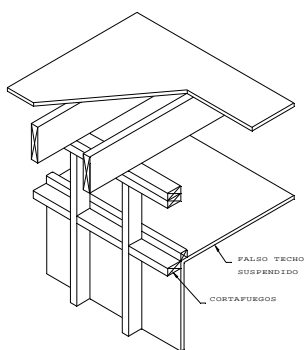
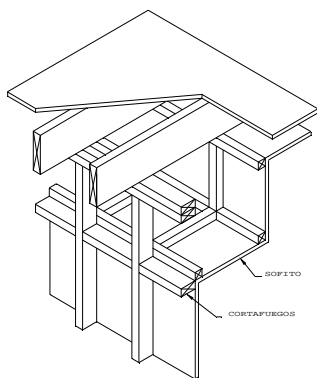
Resistencia al fuego de las casas de madera

Para determinar la resistencia es necesario que cada parte de la estructura cumpla cierta función según determinada clasificación: de resistencia para elementos estructurales, de integridad (gases y llamas) y de aislamiento (temperatura) en los elementos separadores y de las tres propiedades para los elementos separadores y portantes.

Estos criterios dependen del tiempo (15', 20', 30', 45', 60', 90', 120', 180', 240' y 360'). En el caso de las estructuras se recomienda una resistencia de 30' en cualquier elemento. Lo que ocurre es que en las construcciones entramadas la estructura principal se compone de muchos elementos lineales y superficiales (montantes y viguetas, tableros, arriostramientos, cerramientos, etc.). Así, la resistencia global depende de la clasificación de cada elemento, considerando todas sus posibles funciones estructurales, incluyendo juntas y medios de unión empleados. Existen diferentes métodos de cálculo.

Elementos singulares

Independientemente de la resistencia de los elementos desprotegidos, hay que considerar los valores que se alcan-



zan revistiendo una o todas las caras de paneles, tabiques, riostras, muros de carga o separadores, forjados, cubiertas, escaleras, esquinas y juntas. Para ello se acumularán las resistencias del material existente en cada capa.

Conclusiones

La ausencia parcial de resultados de ensayos y la adopción de modelos de cálculo conduce a discrepancias entre cálculo y experimentación (especialmente por el problema de las juntas), por lo que es preciso avanzar en este estudio comparativo. Los métodos de cálculo propuestos por el Eurocódigo 5 deben corresponder lo más exactamente posible con los resultados de ensayo.

HANS HARTL Y MARTIN HALSWANTER
FACULTAD DE INGENIERIA DE INNSBRUCK.
SUIZA

La experiencia canadiense

Una metodología de ensayos y conceptos de diseño basados en comportamiento, para mejorar la clasificación de los materiales de construcción en grado de combustibilidad, ya está siendo adoptado en bastantes países. Aquí la madera es tratada de modo más equitativo con el resto de los materiales. También se ha desarrollado un programa informático para simular el comportamiento de un edificio de madera bajo diferentes condiciones de fuego. Este es el primer paso para sustituir los carísimos y complicados ensayos de resistencia al fuego de escala real.

J. R. MEHAFFEY Y H. TAKEDA
FORINTEK CANADÁ CORP.

Reunión monográfica en Espoo (Finlandia)

El próximo 'workshop' del programa Cost E5 tendrá como único tema la seguridad al fuego de los edificios de media altura de madera los días 2 y 3 de junio. La organización corre a cargo del VTT.

ALEMANIA

El anclaje de los muros y su resistencia al viento

La mayoría de los elementos constructivos de las casas de madera se componen con elementos lineales (montantes o viguetas) revestidos con un cerramiento de tableros o cartón yeso.

Las cargas verticales se transmiten a la cimentación a través de ellos mientras que las horizontales (viento) se transmiten también por el cerramiento. Así los muros, techos y cubiertas pueden emplearse como 'diafragmas' estructurales. El comportamiento estructural de los sistemas de diafragmas han sido ampliamente estudiados, pero siempre considerándolos como subsistemas planos sin considerar su mutua influencia por medio de un análisis tridimensional.

El diafragma de muro como subsistema plano

Considerando un muro entre dos diafragmas de forjado como empotrado, los esfuerzos provocados por la carga horizontal de viento se descomponen en un par de fuerzas perpendiculares a la línea de cimentación cuya magnitud puede calcularse convencionalmente y plantearse que el anclaje sea innecesario si se toma en cuenta el peso total de la casa, y esta es suficiente.

El diafragma como parte de un sistema tridimensional

Es aconsejable considerar el peso propio de la casa porque la aportación estructural de todos los elementos portantes es considerable, además la rigidez de los muros de carga y su mutua influencia en el cálculo de la carga soportada. Esta hipótesis toma en consideración, por ejemplo, la rigidez del diafragma de techo y la rigidez a flexión de los entramados de los muros. Con esta consideración cada muro se soporta de

tal manera que es imposible un desplazamiento horizontal o vertical. En efecto las resultantes de los pesos propios confirman lo que intuitivamente se suponía, que no hay desplazamiento horizontal posible por causa del viento.

Conclusiones

Los resultados de este examen demuestran que una vivienda convencional del tipo analizado resulta suficientemente estable como para no necesitar anclajes. Lo aquí expuesto no permite inferir que las viviendas de entramado ligero no necesiten anclaje y cada caso ha de analizarse individualmente.

M.H. KESSEL Y K. DRÜKER
ESCUELA FORESTAL DE HILDESHEIM.

Alvar Aalto en las obras de construcción del pabellón finlandés de Venecia. 1956

Resistencia al sismo de los sistemas de entramado ligero

Las construcciones tradicionales de madera mostraron un excelente comportamiento frente al sismo y las razones han sido largamente estudiadas en todo el mundo y la común opinión coincide en apuntar los siguientes factores:

- Ligereza del conjunto de la estructura
- Regularidad del edificio en planta y altura (efecto caja)
- Flexibilidad y capacidad de disipar energía por elementos no-estructurales (por ejemplo particiones o tabiques)
- Más largos periodos naturales de vibración después de los primeras sacudidas

Sin embargo las actuales construcciones, cada vez más irregulares y pesadas requieren reconsiderar estos supuestos.

Bases de diseño

En el Eurocódigo 8, dentro del capítulo 5 dedicado a las estructuras de madera, se estudia el sismo en determinadas regiones según diferentes criterios:

- Moderado pero probable, con un pico de aceleración del terreno y un periodo de retorno de 50 años sin especiales daños en los elementos estructurales.
- Definitivo, severo pero accidental y un periodo de retorno de 250 años, con importantes daños en la estructura aunque sin ruina. Todos los edificios deberían soportarlo.

A pesar de ello sólo se exigen en este eurocódigo comprobaciones de estados límite últimos en el cálculo sísmico. Los cálculos de condiciones de servicio para fuerzas laterales se requieren sólo para las acciones de viento. Las estructuras se clasifican según su comportamiento plástico y su capacidad para disipar energía. Cuan-

to más altas son estas características mayor resistencia ofrecerán a los fuertes terremotos:

- Estructuras que no disipan, sino con pocas juntas, con uniones metálicas más allá de las zonas de disipación
- Estructuras de baja disipación, con pocas pero efectivas zonas de disipación
- Estructuras de disipación media (entramados, sistemas vigapilar con juntas semirígidas, conectores a la cimentación semirígidos, cerchas realizadas con placas metálicas, diafragmas interconectados con conectores metálicos, estructuras mixtas, etc.)
- Estructuras de alta disipación (edificios con diafragmas verticales que resisten fuerzas horizontales, con cerramiento estructural fijado con conectores metálicos), así como interconexión de los elementos murales (los diafragmas horizontales pueden clavarse o encolarse).

En los dos últimos casos se pueden cumplir los requerimientos de los esfuerzos horizontales mediante arriostramiento por tensores o rigidizando con el cerramiento estructural. Especialmente en edificios de altura conviene considerar el peso propio y aumentarlo eventualmente con hormigón proyectado en forjados y cubiertas incrementando la inercia.

También es importante la continuidad estructural. Dado que la acción resultante es de componente horizontal y afecta a toda la estructura, debe garantizarse la continuidad de la distribución de la carga. El cerramiento estructural y los diafragmas deben conectarse adecuadamente para que la estructura funcione al unísono. En particular en la conexión

Carpinteros de armar durante la construcción del pabellón finlandés de Venecia. 1956

Diseño acústico en viviendas de entramado ligero

con el terreno de la cimentación (vigas de corona, continuidad de las esquinas, con espaciamientos de fijación más cortos). A nivel vertical es deseable buscar también esta continuidad.

Conclusiones

Los edificios de madera en altura se están estudiando actualmente en el EC 8 para regiones con sismo frecuente. Pueden encontrarse valores de comportamiento en el Código actual. Sin embargo para mejorar la efectividad, especialmente en el diseño, se deben proponer nuevas concepciones si se quiere mejorar la competitividad de estos edificios.

En concreto deben estudiarse los siguientes temas:

- Mejor evaluación del periodo de vibración
- Mejor evaluación del factor humedad en el campo elástico
- Más detalle para mejorar la flexibilidad de las juntas y su disipación de energía
- Una mejor evaluación del factor de comportamiento.
- Estudios de nuevos sistemas mixtos.

En el laboratorio de Forintek de están ensayando muros con cerramiento estructural de 2,4 x 4,8 m bajo cargas cíclicas. Las variables introducidas son la orientación del tablero, el uso de codales entre montantes, la contribución de los tableros de yeso y el grosor del tablero.

ARIO CECCOTTI
DPTO. DE INGENIERÍA CIVIL.
UNIVERSIDAD DE FLORENCIA. ITALIA
EROL KARAKABELY
FORINTEK CANADA CORP.

El aislamiento acústico de viviendas en altura es una de las tareas más difíciles de resolver en orden a alcanzar los estándares de confort adecuados en las casas entramadas en altura. Según algunos estudios, los requerimientos que indica la norma ISO no se corresponden con la clasificación subjetiva obtenida estadísticamente entre usuarios. Por este motivo el Departamento de Acústica de la Universidad de Lund ha desarrollado un método para relacionar los dos: básicamente es el mismo de la norma pero con una curva diferente entre las frecuencias 50 y 1000 Hz.

Así como el ruido aéreo puede combatirse fácilmente con el doblado de capas, el de impacto es de muy difícil solución (especialmente el de pisadas). De aquí que el aislamiento acústico de las viviendas de madera se solucionaría diseñando estructuras de suelos contra ruidos de impacto de baja frecuencia (20-200 Hz). Ahora bien, debe correlacionarse el índice de impactos con la clasificación subjetiva estadística. Para ello pueden utilizarse bases de datos de modelos reales (de los que en Suecia existen infinidad de pruebas acompañadas de encuestas a los propietarios) y modelos teóricos alternativos. De los estudios realizados se concluye que una gran mayoría escogió la 'clasificación media subjetiva' de 4 (sobre un rango de 1 a 7) como la mínima aceptable para ruido de impacto. La mayoría de los forjados estudiados superaban los 62 dB, por lo tanto inadecuados desde el punto de vista del confort.

Recientemente se ha terminado un estudio específico para edificios de madera en altura en la Universidad de Lund. El

balance acústico global fue de 6 (sobre un máximo de 7) pero el aislamiento a impacto fue de 4-5. Es digno de mención que el 80% de los usuarios provenían de viviendas convencionales de hormigón.

Los muros se formaron con el siguiente esquema: 2 tableros de yeso de 13 mm, montantes de 45 x 120 mm, cavidades rellenas de 250 mm, montantes de 45 x 120 mm y 2 tableros de yeso de 13 mm.

Se emplearon dos tipos de forjado con el siguiente esquema: Tipo 1: 2 tableros de yeso de 13 mm, TRP, viguetas de 300 mm y relleno de cavidad de 330 mm, perfiles resilientes y 2 tableros de yeso de 13 mm. Tipo 2: 20 mm de hydrite, capa resiliente, contrachapado, vigueta de 400 mm, relleno de cavidad de 400 mm, perfiles resilientes, 2 tableros de yeso de 13 mm.

El aislamiento acústico se situó entre 60-62 dB (justo por debajo del límite).

Para apoyar el desarrollo de los entramados ligeros es necesario combinar el uso de ensayos y cálculos teóricos. Para predecir el aislamiento aéreo existen modelos razonables, pero no los hay para el ruido de impacto. Existen, sin embargo, algunos puntos conflictivos, como son: el acoplamiento entre vigas y viguetas (en sistemas porticados) o testeros (sistemas entramados), entre viguetas y falso techo, condiciones de borde de las vigas y viguetas, sistema de contacto entre las diferentes capas (atornillado o encolado) y el comportamiento acústico de los diferentes materiales.

Conviene tener en cuenta:

- Que el incremento de la rigidez y/o la masa del muro virtual tiende a incrementar la transmisión del impacto a baja frecuencia.

- Que el aumento de la rigidez del testero superior del entramado de muro tiende a incrementar la transmisión del impacto mientras que el aumento de su masa tiende a disminuirlo.

- La separación entre vigas influye en la transmisión del impacto a determinadas frecuencias y su masa lo hace decrecer. El impacto directo en las vigas incrementa la transmisión a través de ellas.

Se han realizado algunos estudios del empleo las técnicas de periodicidad de Fourier.

PER HAMMER
DEPARTAMENTO DE ACÚSTICA DE LA
UNIVERSIDAD DE LUND. SUECIA

LA INFORMACIÓN COMPLETA DE TODAS
LAS PONENCIAS SE ENCUENTRA EN AITIM
(J. ENRIQUE PERAZA)