

Edificios de media altura en madera y fuego



Timber Frame 2000. Edificio dentro del hangar

Del 10 al 12 de Junio se celebraron en la sede del BRE (Building Research Establishment), Watford (Reino Unido) unas jornadas relativas a esta acción COST, una visita al laboratorio del BRE en Cardington y la reunión del Comité de Dirección. En este número se resumen algunas de las conferencias, entre las que destacan las relativas al proyecto TF-2000 (Timber frame = entramados de madera). Este proyecto incluye la construcción de una vivienda de entramado ligero de madera de 6 pisos sobre la que se están realizando diferentes ensayos a escala real.

Las jornadas se abrieron con la presentación de las actividades del BRE, instituto que organizaba este evento, a cargo de su director A. Bravery. A continuación se impartieron las conferencias que se mencionan a seguidamente y de las cuales se han resumido las más interesantes.

Entramados ligeros de madera

BRE
GARSTON, WATFORD
HERTFORDSHIRE WD2 7JR
TEL: 01923.664.000
FAX: 01923.664.010
E-MAIL: ENQUIRIES@BRE.CO.UK.
INTERNET: WWW.BRE.CO.UK

Los títulos de las conferencias fueron los

siguientes:
- Estado actual del proyecto TF 2000 (V. Enjily del BRE; S. Palmer & G. Pitts del TRADA)
- Objetivos del TF 2000 (V. Enjily del BRE; S. Palmer & G. Pitts del TRADA)
- Experiencias de proyectos pilotos de edificios de varias plantas en Finlandia - costes y competitividad (J. Nummi & T. Toratti del VTT).

- Experiencias de diseño de edificios de entramados ligeros de madera de varias plantas en Suecia (U. Persson de Skansa Teknik AB)
- Diseño de fachadas de madera de edificios de entramados ligeros de madera de varias plantas (J. Heikkilä de la Universidad de Oulu - Finlandia).
- Medidas de la vibración en suelos de entramados de madera (G.P.C. van Oosterhout, R. Donkervoort, J-W.G. van de Kuilen del TNO).
- Comportamiento y requisitos de estabilidad de estructuras de madera frente al fuego (J.König del TRATEK).
- Valoración de los riesgos de edificios de entramados ligeros de madera de varias plantas (S.E. Magnunson, T. Rantatola & B. Östman, de la Universidad de Lund, Noruega).
- Avance en los problemas del cálculo de las fuerzas laterales en edificios de entramados ligeros de madera de media altura: estructuras irregulares (A. Gjinolli & M. Misini del Colegio de Ingeniería Civil y de Arquitectura de Yugoslavia).
- El estado actual de los edificios de entramado ligero en Rusia (A.I. Ustinova, Gosstroy, Rusia).
- Cálculo de la Estructura de Madera TF 2000 (P. Steer, consultor)
- Verificación del comportamiento de un edificio de 6 plantas frente a daños accidentales (M.W. Milner, TRADA; V. Enjily, BRE).
- Aspectos de los sistemas de transmisión de fuerzas en los edificios de entramados ligeros de varias plantas (S. Andreasson & S. Thelandersson, Universidad de Lund, Noruega).
- Resistencia frente al sismo de casas de madera de 2 y 4 plantas (F. Atanasiu, A. Luchian, M. Pospescu, C. Praun Instituto Nacional de la Madera de Rumania).
- Consideraciones sobre el cálculo de la acción de los movimientos sísmicos en estructuras de maderas de varias plantas (A. Ceccotti, Universidad de Florencia; E. Karacabeyli, Forintek, Canadá).
- Mejora de los suelos

Laboratorio de ensayos Cardington

de madera mediante las adición de capas de hormigón (M. L. R. van der Linden, TNO).

BRE - Una breve presentación

El BRE (Building Research Establishment) es uno de los principales centros de investigación del Reino Unido, en donde trabajan, aproximadamente, 350 investigadores y consultores. Sus trabajos se centran en las áreas de construcción, mejores prácticas medioambientales y el fuego, y se realizan en diferentes centros ubicados en el Reino Unido.

En particular los temas sobre la madera se desarrollan en el Centre for Timber Technology and Construction y sus actividades abarcan los siguiente aspectos:

- Tecnología de la madera: Propiedades y comportamiento.
- Mecanización y componentes. Temas medioambientales.
- Durabilidad de la madera: Tratamiento superficial de la madera para exteriores. Protección. Biodegradación de la madera.
- Productos de la madera con aplicaciones estructurales ■

En 1917 el Ministerio del Aire del Reino Unido compró unos terrenos en Cardington para construir los hangares en los que se fabricarían los famosos Zepellins "R 1000 airships" (dirigibles). En 1924 comenzó la construcción del primer hangar que costó 105.000 Libras esterlinas. El segundo hangar con dimensiones parecidas procedió del desmantelamiento de un hangar similar construido en Norfolk en 1917 y que se volvió a montar en Cardington en 1928. Las dimensiones de los hangares son impresionantes y hay que verlos in situ para poderse hacer una idea de las dimensiones de los mismos.

El edificio tiene 248 metros de longitud, 84 metros de ancho y 55 metros de altura, y ocupa una superficie de 5 acres (2,02 Hectáreas o 223.300 m²); el volumen total del edificio es de 760.000 m³. El peso total de la estructura es de 3.720 toneladas y el de cada puerta, 470 toneladas. Un dato curioso es que la puertas se abren mediante motores eléctricos que tardan 15 minutos en lograr abrirlas totalmente. El peso de la pintura utilizada es de 4 tonela-

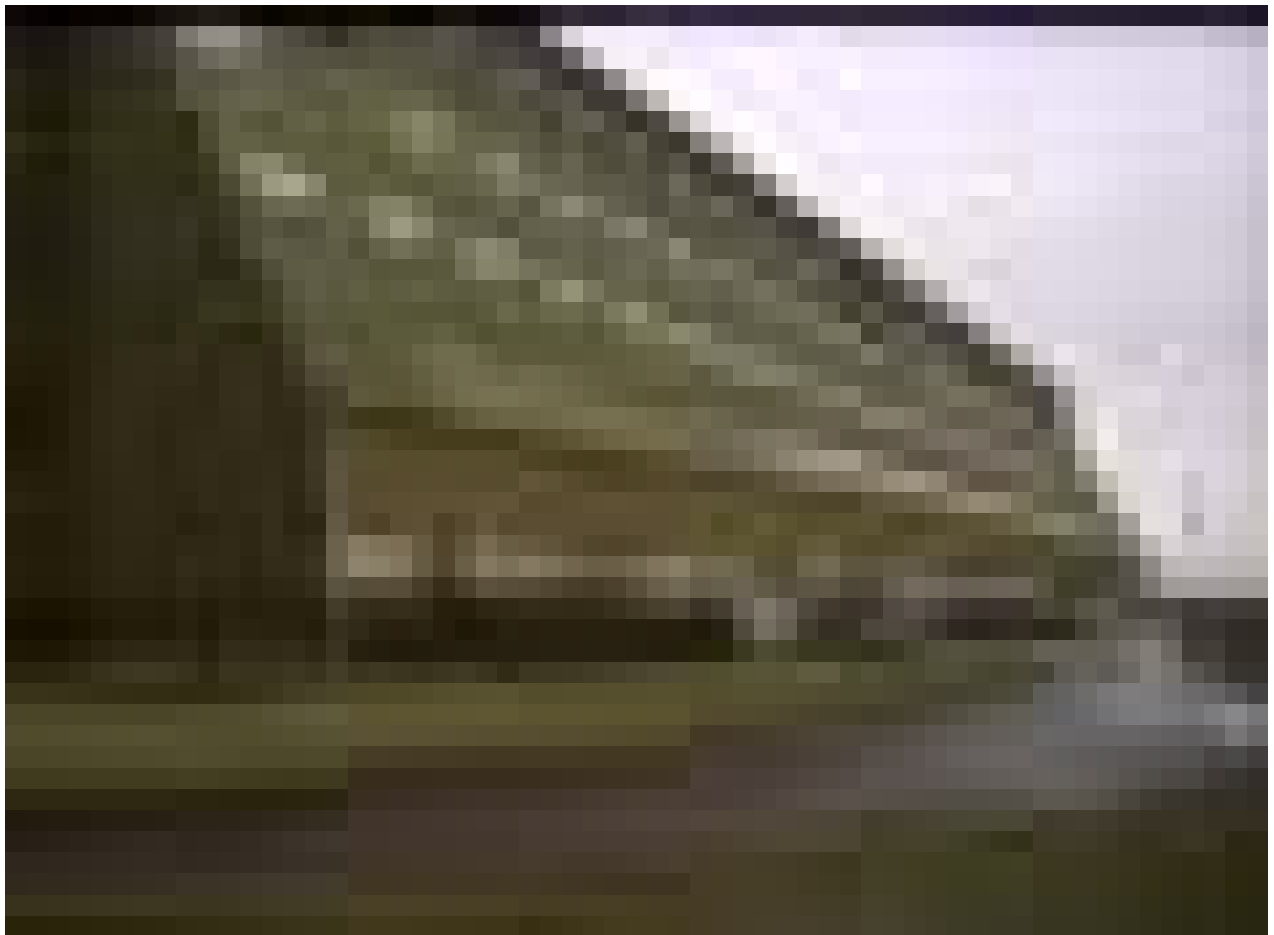
das.

Los hangares permitían guardar y construir nuevas aeronaves. Hasta 1938 se continuó construyendo aeronaves en estos hangares (un año antes se había producido el accidente del dirigible Hindenburg que se incendió; en aquella época se utilizaba hidrógeno para inflarlos; en el accidente murieron 13 personas y marcó el declive de estos aparatos). En 1943 cesó toda la actividad de fabricación. Durante los 5 años siguientes sirvió para almacenar y suministrar globos utilizados en investigaciones meteorológicas y entrenar al personal que los manejaba. En 1967 los hangares dejaron de ser útiles para la Unidad de dirigibles de la RAF que se trasladó a Hullavington, aunque se siguieron utilizando para proyectos de investigación.

En 1969 las instalaciones se transfirieron al Ministerio de Tecnología. En 1972 la Fire Research Station (FRS) (Sección de Investigación sobre el Fuego) empezó a utilizar los hangares para realizar ensayos de fuego a escala real.

En 1989 el Ministerio de Tecnología lo cedió al Departamento de

Medioambiente y se convirtió en un lugar de ensayo para la FRS y el BRE. Actualmente está considerado como el mayor laboratorio del mundo que permite realizar ensayos sobre el fuego y el comportamiento estructural de edificios a escala real. En 1993 se construyó en el interior del hangar un edificio con estructura de acero de 8 plantas (tiene una longitud de 45 metros, una anchura de 21 metros y una altura de 32 metros). Posteriormente se construyó un edificio de entramado ligero de madera de seis plantas, que tiene el nombre de TF 2000 (Timber Frame 2000 = Entramado de madera 2000). Actualmente se está terminando la construcción de otro edificio de hormigón de siete plantas. ■



Hangares originales y en la actualidad

Timber Frame 2000

ENJILY, V. (BRE) Y PALMER, S. & PITTS, G. (TTL)

Se trata de un proyecto ambicioso para el desarrollo y conocimiento de la construcción de edificios de media altura con entramado de madera, que cuenta con una participación de numerosas empresas del sector de la construcción y que está dirigido por el Building Research Establishment (BRE) y el TRADA Technology Limited (TTL).

La construcción de viviendas con entramado de madera, hasta tres plantas de altura, representa entre el 8 y el 10% del mercado en Inglaterra y Gales y entre el 45 y el 50% en Escocia. La construcción de edificios de cuatro plantas ha sido habitual desde mediados del siglo XVIII para diversos usos. A su vez la normativa Británica ha ido renovándose para adaptarse a tales prácticas. Sin embargo, en ciertos aspectos las recomendaciones de la norma actual han sido obtenidas por extrapolación. De esta forma se considera vital la existencia de una norma que contemple la edificación de cinco o más plantas con entramado de madera. Este fue el origen de

este proyecto cuyas bases se terminaron en octubre de 1995. Tiene dos fases: la primera tenía por objetivo establecer un programa de trabajo para la segunda fase, incluyendo el proyecto detallado de un edificio a utilizar como banco de ensayos: la segunda fase comprendía la construcción de este edificio-probeta, de seis alturas, así como la elaboración de guías y normas de construcción, proyecto y cálculo de la edificación en media altura.

Hasta hace pocos años la reglamentación sobre incendios en el Reino Unido limitaba la edificación con madera a tres alturas, (salvo excepciones con requisitos muy especiales). Sin embargo, en 1991 se modificó la normativa en Inglaterra y Gales (no así en Escocia), permitiendo la construcción de edificios de hasta ocho alturas, sin otros requisitos adicionales a los que existían para los edificios de tres plantas (una hora de resistencia al fuego).

Después de un estudio sobre siete edificios de cinco plantas, durante 1994 y 95, en el que se exploraron los aspectos en los que existía falta

de información, se llegó a determinar la estrategia del proyecto TF 2000.

El proyecto consta de dos fases; la primera, ya terminada y se ha comenzado la segunda que tiene como objetivo garantizar y equilibrar la economía con la seguridad, en edificios con entramado de madera con más de 4 plantas. Los análisis y ensayos realizados se resumen a continuación.

Mercado

En un estudio de mercado sobre las posibilidades de los edificios de media altura, realizado

Mercado para edificios de media altura:

Edificios de 3 plantas:	34%
" " 4 " :	25%
" " 5 " :	12%
" " 6 " :	4%
" " 7 " :	1%
" " 8 " :	1%
Edificio de 9 plantas o más:	23%

Mercado potencial para edificios entramados de madera

Edificios de 3 plantas:	45%
" " 4 " :	33%
" " 5 " :	15%
" " 6 " :	5%
" " 7 " :	1%
" " 8 " :	1%

sobre 10 ciudades británicas, se identificaron 100 edificios recientemente construidos, con 3 ó más plantas en cada una de las ciudades.

Existen, por tanto, fuertes indicaciones de que la edificación con entramado de madera de 3 y 4 plantas es en la actualidad aceptada. Sin embargo, para la introducción de las edificaciones de 5 ó 6 plantas existen barreras tales como:

- La normativa. En Escocia se limita la altura a 11 m cuando los forjados están contruidos con materiales combustibles.

- Costos de construcción. Por encima de cuatro plantas se debe tener en cuenta el "colapso desproporcionado" (acciones accidentales tales como las explosiones de gas) y la necesidad de incluir ascensor.

- Mercado. En la actualidad el mercado se encuentra entre 3 y 6 plantas, mientras que el rango de 7 a 8 plantas sólo representa un porcentaje muy bajo.

- Desconocimiento. La mayoría de los arquitectos, inversores, constructores y fabricantes del Reino Unido no cono-

cen las capacidades y beneficios potenciales de la construcción con madera.

Características del edificio probeta

El edificio tiene un diseño sencillo, sin hacer concesiones excesivas a la estética, ya que se pretende una economía de medios y sus objetivos son de carácter técnico. Consta de 6 plantas con cuatro viviendas iguales por planta con un núcleo central de escalera y ascensores. Toda la madera aserrada en montantes y viguetas es de clase resistente C16, una clase que es fácil de obtener en el Reino Unido. El contenido de humedad de la madera en el momento del montaje se limitó al $12 \pm 2\%$ en los forjados y al $18 \pm 2\%$ en los muros.

El primer piso está construido sobre una solera de hormigón. Los muros, del interior al exterior, contienen los siguientes elementos: dos planchas de cartón-yeso con una barrera de vapor, montantes de 38 x 89 mm con aislamiento térmico de lana mineral. El cerramiento es de tablero de virutas orientadas de 9 mm, de

tipo F2 (OSB3). Como revestimiento se emplea una hoja de ladrillo dispuesta con una cámara de 60 mm y se ata al entramado con piezas de acero inoxidable.

Los forjados están constituidos por un falso techo de dos capas de cartón-yeso y viguetas de madera aserrada con relleno de lana mineral. Como cerramiento se utiliza un tablero de virutas orientadas, tipo F2. El pavimento es flotante sobre rastreles resilientes con una capa cartón-yeso y un tablero de partículas de tipo C4 (M).

Únicamente se utilizó un sistema constructivo de forjados diferente, en la última planta, donde se emplearon viguetas con sección en doble T (TJI joist) y viguetas con alma de celosía metálica. El objeto era comparar su comportamiento con la solución tradicional en madera aserrada. La cubierta está construida con cerchas ligeras que soportan tejas de hormigón.

Tolerancias y movimientos diferenciales

Los objetivos de esta

parte del trabajo consistían en recoger datos suficientes para el análisis de los movimientos diferenciales entre el entramado de madera y el revestimiento externo de ladrillo, las tolerancias de construcción, la variación del contenido de humedad y la distribución real de las cargas. Para ello se dispusieron 93 instrumentos para el registro casi continuo de las deformaciones. Están funcionando desde octubre de 1.997. La madera pierde humedad al comenzar la calefacción mermando su dimensión, y el cerramiento de ladrillo sufre un asentamiento debido a la retracción del mortero. Cuando se terminó la cubierta, la deformación vertical era de casi 3 mm. Después de colocar el revestimiento de cartón-yeso en paredes y techos se alcanzaron unos 6 mm, y al terminar la fachada de ladrillo se llegó a un asentamiento de 9 mm. La tolerancia en altura por cada planta resultó encontrarse entre los valores extremos de +1 y +12 mm. Durante la construcción se observaron desplazamientos laterales del conjunto del edificio de 25 mm,

debidos a las cargas almacenadas y la erección de diferentes partes del edificio. Al finalizar la construcción la tolerancia de este desplazamiento lateral era de ± 10 mm. Este valor está directamente relacionado con la fijación del revestimiento de ladrillo.

El contenido de humedad de las piezas de madera de los muros y de los forjados en el momento de la construcción era del 17,5 % y del 12,5 %, respectivamente. Después de un periodo de fluctuación de la humedad en los muros de la planta inferior se observaban humedades del 14,6 %, mientras que en los forjados se mantiene cercana al 12,5 %. Bajo algunos montantes de los muros de planta baja se dispusieron células de carga para registrar la variación de la misma a lo largo de la construcción. La distribución de la carga presentaba diferencias notables con respecto a los valores teóricos. Las cargas asumidas por los montantes son inferiores a las esperadas por cálculo. Esto se debe a que los cerramientos recogen parte de la carga por un mecanismo

Proyectos pilotos en Finlandia

EXPERIENCIAS DE PROYECTOS PILOTOS DE EDIFICIOS DE VARIAS PLANTAS EN FINLANDIA. COSTES Y COMPETITIVIDAD

J. NUMMI & T. TORATTI DEL VTT (FINLANDIA).

La competitividad de los edificios de madera está influenciada por diferentes factores, que se abordan desde el punto de vista de la producción. Hasta el momento se han construido en Finlandia 17 edificios de varios pisos de madera utilizando diferentes sistemas constructivos. Aunque la muestra es pequeña permite realizar una primera comparación con los construidos en hormigón.

Hay que tener en cuenta que la construcción de edificios con hormigón sigue mejorando debido a la competencia de otros materiales de construcción. La construcción de edificios en madera está demostrando que este tipo de construcción cumple los reglamentos definidos y que técnicamente es factible, aunque los costes, hasta el momento, han sido mayores de los esperados. La utilización de la madera no ha reportado una ventaja inmediata sobre los otros sistemas constructivos, por ejemplo todavía no ha sido capaz de tomar ventaja en la velocidad

que no se tiene en cuenta en el cálculo.

Rigidez del conjunto

Uno de los puntos principales de interés en este proyecto era conocer la contribución de varios elementos constructivos, tales como el cartón-yeso, el revestimiento de ladrillo, etc, a la rigidez del conjunto de la estructura. Para su determinación se empleó un ensayo dinámico como un procedimiento indirecto. Hasta el momento los resultados indican que la contribución de estos elementos no estructurales tienen una contribución considerable.

Colapso desproporcionado

En el Reino Unido los edificios de 5 o más plantas deben diseñarse para situaciones denominadas de colapso desproporcionado (colapso progresivo). Estas corresponden a situaciones accidentales como una explosión de gas que afecte a elementos estructurales. El edificio debe mantenerse aunque pierda un elemento principal como una viga, un pilar o un tramo de muro. Se admiten daños en la construcción, pero no

un colapso desproporcionado. Normalmente, este diseño obliga a colocar cargaderos en los apoyos de las viguetas de forjado y a que los muros puedan trabajar como vigas en situaciones extremas. En el edificio probeta se eliminó un tramo de muro en la planta baja correspondiente a una de las habitaciones. Se registraron las deformaciones en los muros durante un periodo de tiempo suficiente para simular la actuación de los apeos de emergencia.

Aspectos en proceso de estudio

Sobre el comportamiento frente al fuego y acústico todavía no se han llevado a cabo ensayos, pero están planificados. Tienen una fuerte relación con la normativa vigente en el Reino Unido y es previsible que sus resultados se concreten en guías de diseño ■

o tiempo invertido en la construcción.

Las experiencias realizadas hasta ahora han permitido extraer las siguientes conclusiones:

A.- Desventajas:

- las ventajas en los cimientos de las estructuras ligeras de madera no se han podido aprovechar
- la cantidad de trabajo requerido y el tiempo invertido en el cálculo para poder cumplir los requisitos de producción.
- escaso tiempo de planificación durante la construcción.
- la gran cantidad de mano de obra requerida
- la inexperiencia y falta de profesionalidad de la mano de obra
- los restrictivos reglamentos sobre el fuego que exigen la instalación de pulverizadores (sprinklers).
- la infraestructura necesario para evitar la acción de la humedad.
- los problemas causados por las inclemencias atmosféricas
- la actitud precavida de los subcontratistas hacia los nuevos métodos constructivos.

B.- Ventajas:

- la facilidad para el diseño y construcción de la fachada

- la facilidad para las instalaciones eléctricas
- bajos costes de la construcción in situ

Es interesante resaltar los siguientes puntos:

- la comparación engloba muchas variables que no son posibles de valorar en una escala numérica.
- la comparación es complicada al existir ayudas o subvenciones en los materiales y en los costes.
- la estructura es sólo una parte del sistema constructivo.
- los efectos indirectos de la estructura, como la posible necesidad para trabajos de cimentación adicionales, el espacio requerido para los muros de compartimentación, etc., deben tenerse en cuenta cuando se examina la totalidad del sistema constructivo.
- la forma del edificio tiene gran importancia, el incremento del número de huecos en las fachadas da a la madera más competitividad frente a otros materiales.
- los costes originados por ser la primera vez que se construye con este sistema no se han tenido en cuenta.

Ha continuación se expone una tabla con los ratios correspondientes a los costes de los forjados y de los muros exteriores de la construcción en madera, elaborada con la información de los proyectos realizados; en la

tabla también se incluye la comparación de costes si la construcción se hubiera realizado en hormigón. En los costes no se han incluido los costes indirectos. Los datos que se exponen todavía no son muy exactos, pero sirven para realizar unas primeras valoraciones. En general la construcción en madera requiere más mano de obra que la construcción en hormigón (2,8 hombre - hora / m² con elementos prefabricados de madera; 3,7 hombre - hora / m² para la construcción en madera in situ; 1,8 hombre - hora / m² para la construcción con hormigón), esto se debe a la gran cantidad de tableros de yeso que

existen en la casas de madera. En relación con el fuego, los costes de los sistemas de los pulverizadores (sprinkler) y alarmas son los más importantes, suponen más de la mitad de los costes de los sistemas de protección de protección contra el fuego.

Mejoras potenciales - Perspectiva

La mejora del trabajo realizado por la mano de obra y la experiencia adquirida en la ejecución de las diferentes obras ha sido muy importante. Los costes se pueden reducir considerablemente cuando se estandaricen las soluciones estructurales y los diseños, y la fabricación y el proceso de instalación se hayan repetido suficientemente.

En el futuro la competitividad de la construcción en madera deberá basarse en la estandarización de los sistemas estructurales y en la implantación de métodos eficientes de

ejecución. Es necesario desarrollar una gran labor de promoción para mejorar la imagen de la construcción en madera. Para mejorar su competitividad se proponen los siguientes pasos:

- aprovechar los beneficios de un uso más racional de la madera.
- mayor cooperación entre el diseño y la ejecución
- aprovechar la experiencia obtenida mediante su documentación.
- mejorar los tiempos de ejecución de los proyectos (consumos y tiempos de entrega).
- aprovechar las oportunidades que ofrece en cuanto a la velocidad de ejecución.
- simplificar los lugares de trabajo en obra
- buscar soluciones innovadoras para los problemas de los suelos de madera.
- estabilizar los precios
- utilizar otros materiales
- tener en cuenta las condiciones climáticas

FORJADOS	Coste del material (%)	Coste de la mano de obra (%)	Coste relativo
Viguetas de madera	54	46	1,4
Cerchas de madera	74	26	1,7
Elementos de placa nervada	76	24	2,4
Elementos de hormigón	72	28	1,0
MUROS EXTERIORES			
Construidos in situ	41	59	0,6
Elementos de estructura (No de cerramiento)	75	25	0,7
Elementos abiertos (sin aislamiento)	82	18	0,7
Todos los elementos	97	3	0,7
Elementos de hormigón	97	3	1,0

Estabilidad frente al fuego

COMPORTAMIENTO Y REQUISITOS DE ESTABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE MADERA FRENTE AL FUEGO
J.KÖNIG DEL TRATEK (INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DE SUECIA)

Durante los últimos años se han introducido en algunos países nuevos reglamentos del comportamiento de los edificios que incluyen requisitos funcionales y la comprobación de la estructura. Estos reglamentos abren nuevas aplicaciones, especialmente para la construcción en madera, con respecto al fuego.

Para poder aprovecharnos de estas nuevas posibilidades es necesario verificar que la seguridad de los edificios de madera es por lo menos igual a la de los edificios construídos con otros elementos.

Tradicionalmente los ensayos de las estructuras de madera frente al fuego se realizaban de acuerdo con la norma ISO 834, que permite cuantificar o clasificar los valores de la "resistencia al fuego" en función del tiempo. En los reglamentos de la mayoría de los países se describe que deben utilizarse "las curvas estándar del fuego". Solamente en dos países, Suecia y Dinamarca, los reglamentos permiten la utilización

de "curvas paramétricas del fuego", las cuales permiten determinar con mayor exactitud los posibles tipos de fuego y los requisitos requeridos para la seguridad frente a un incendio (Figura 1). No resulta descabellado pensar que otros países sigan este enfoque, ya que la Directiva Europea de la Construcción y los Documentos Interpretativos refuerzan esta filosofía. El Eurocódigo 1 "Bases de cálculo y Acciones sobre las estructuras" incluye las curvas paramétricas de fuego aunque su utilización es escasa.

La mayoría de los reglamentos sólo incluyen la seguridad de las personas, de los cuerpos de bomberos y de terceras partes, y no se

menciona los bienes u objetos incluidos dentro del edificio. Solamente el reglamento de Noruega incluye la seguridad de la propiedad.

Las medidas de protección contra el fuego se dividen en:

- medidas activas (por ejemplo los rociadores (sprinklers))

- medidas pasivas

- (- la acción de los cuerpos de bomberos)

De forma general y en relación con la protección pasiva, el cálculo de la estructura frente al fuego incluye la verificación de:

- la separación funcional de los sectores de incendio y

- la estabilidad de la estructura de los sectores de incendio y otras partes esenciales de la estructura

La separación funcional de los sectores de incendio es primordial para que no se extienda el fuego por el resto del edificio y para que los ocupantes del edificio puedan escapar o ser rescatados. Para que se mantenga la separación funcional, la estructura no debe colapsarse durante el período de tiempo establecido, independientemente de que esté o no soportando cargas. La capacidad resistente de la estructura durante un tiempo superior al definido en la "resistencia al fuego" es importante para el trabajo de los cuerpos de bomberos y para la minimizar la pérdida de los bienes y propiedades que están en el interior del edificio.

En la mayoría de los países la seguridad frente al fuego se consigue combinando las medidas activas, las medidas pasivas y la acción de los cuerpos de bomberos.

Escenarios

Para satisfacer los requisitos con respecto a la "resistencia al fuego", los elementos que soportan cargas deben mantener su estabilidad estructural durante el tiempo requerido. En relación con el posible fallo de la estructura se deberían considerar los



Figura 1.- Ejemplos de curvas paramétricas con diferentes ratios de carga de fuego y otros factores que representan diferentes tipos de fuego y su comparación con la curva de fuego estándar.



Figura 2. Capacidad portante - Tiempo

siguientes escenarios:

- Escenario 1:

La pérdida de estabilidad de parte de la estructura lleva al colapso de toda la estructura. Normalmente se aplica a edificios de baja altura con una o dos plantas, en los cuales sus ocupantes pueden escapar fácilmente, la protección de los bienes y las propiedades tiene poca importancia y los edificios colindantes no se ven afectados por el fallo.

- Escenario 2:

La pérdida de estabilidad de parte de la estructura lleva al colapso parcial de la estructura. Se aplica a edificios de media altura, en los cuales sus ocupantes pueden escapar fácilmente, la protección de los bienes y las propiedades tiene una importancia relativa y los edificios colindantes no se ven afectados por el fallo.

- Escenario 3:

La pérdida de estabilidad de parte de la estructura está limitada a la zona correspondiente al sector de incendio donde se ha originado el fuego. La estabilidad estructural del resto de la estructura no se ve afectada. Se aplica a edificios de media altura, en los cuales sus ocupantes pueden escapar o ser rescatados fácilmente, la protección de los bienes y las propiedades tiene bastante importancia y los edificios colindantes pueden verse seriamente dañados de forma parcial o total por el fallo.

- Escenario 4:

En las zonas donde no se ha producido el incendio no se produce pérdida de estabilidad de la estructura que pueda causar colapso. La estructura puede soportar un incendio completo sin la intervención del cuerpo de bomberos.

En la mayoría de los reglamentos los requisitos de comportamiento se especifican en términos de "tiempos de resistencia al fuego estándar" sin tener en cuenta los posibles escenarios que se acaban de mencionar. Si los arquitectos no disponen de información sobre los requisitos funcionales, será muy difícil que puedan incorporarlos en los diseños.

Con el objeto de limitar las consecuencias de un colapso parcial después del período de tiempo de resistencia al fuego requerido, el daño producido no debe provocar el colapso total de la estructura. La estrategia consiste en conseguir que otros elementos de la estructura soporten las cargas de la zona afecta. Los requisitos funcionales más estrictos se refieren a la supervivencia del edificio después de un incendio sin la intervención de los cuerpos de bomberos.

Este escenario incluye el período de enfriamiento, en el que hay que tener en cuenta que el interior de algunos muros pueden continuar ardiendo y provocar el fallo de la estructura. En los edificios de madera se puede cumplir este requisito protegiendo totalmente la estructura de madera. Esta medida es relativamente costosa, ya que requiere emplear 3 capas de tableros de yeso, y origina que los edificios de madera no sean competitivos. En Suecia, uno de los países líderes en la utilización de "escenarios de fuego no estandarizados", se permite tener en cuenta en el cálculo el escenario del fuego correspondiente utilizando las "curvas paramétricas" de la figura 1. En la figura 2 se comparan estructuras elaboradas con diferentes materiales (1 = acero; 2 = madera sin protección; 3 madera totalmente protegida).



Figura 3. Valoración de los criterios de cálculo en relación con el fallo de la estructura.

Utilizando estos métodos alternativos, que son conservativos, se pueden construir estructuras más económicas. Una estructura de acero (curva 1) podrá sobrevivir a un incendio total si no sobrepasa el punto de mayor pérdida de capacidad portante - tiempo. En el caso de la madera sin protección (curva 2) seguirá conservando su capacidad portante durante un cierto tiempo, pero si no se produce la intervención de los cuerpos de bomberos terminará fallando.

Propuesta para el procedimiento de cálculo de fuegos paramétricos

En general, se puede decir que la resistencia de cálculo (R) ha de ser superior a la resistencia originada por la acción (E). En la figura 3 se ilustra para el caso de una estructura de acero y para el de una de madera, en el que el tiempo indica cuando se produce el fallo. La

estructura de acero superará la acción de un incendio total mientras que la de madera irá perdiendo resistencia y fallará si se sobrepasa el tiempo ($t_{u,d}$).

Actualmente es difícil saber los tiempos críticos ya que no se especifican en los reglamentos, y es necesario realizar ensayos y proyectos de investigación para poder determinarlos.

Consideraciones especiales

En el caso de incendios en edificios de madera, la función de los revestimientos es evitar o disminuir la acción del fuego y su grado de protección depende de los requisitos de funcionamiento. Los tableros de yeso son los que se utilizan habitualmente y su función se optimiza si se consigue que no se desprendan. En los ensayos se ha observado que estructuras de madera que estaban protegidas con tableros

de yeso y a las que se les quitaban estos tableros después de realizar el ensayo seguían ardiendo (aunque la temperatura alcanzada había sido inferior a 200°C). Esto nos indica que después de un incendio es necesario eliminar los recubrimientos de yeso para comprobar si la estructura de madera está ardiendo en su interior.

Conclusiones

La utilización de estructuras con entramados ligeros de madera requiere una mejor comprensión de su comportamiento frente al fuego y unos reglamentos menos estrictos. Además se deberían analizar los riesgos potenciales de colapso después del incendio ■

Vibración en entramados de suelos

MEDIDAS DE LA VIBRACIÓN EN SUELOS DE ENTRAMADOS LIGEROS DE MADERA (G.P.C. VAN OOSTERHOUT, R. DONKERVOORT, J.W.G. VAN DE KUILEN DEL TNO).

Aprovechando la experiencia del proyecto TF 2000 se realizaron una serie de ensayos acústicos en suelos entramados ligeros de madera que aportaron una importante información sobre este tema. En este edificio se utilizaron 5 tipos diferentes de suelos ligeros de madera que consistían básicamente en vigas de madera y en tableros derivados de la madera (tableros de virutas orientadas OSB)

Percepción humana de las vibraciones de los suelos.

Hasta hace poco tiempo los suelos de madera se diseñaban con suficiente resistencia y rigidez por lo que su comportamiento dinámico cumplía, en general, de forma implícita las especificaciones. La obtención de la resistencia y la rigidez necesarias requería la existencia de masa que permitía que se cumplieran las especificaciones. Actualmente se utilizan elementos estructurales de madera más ligeros y resistentes que tienen menos peso propio y

que pueden tener problemas con las vibraciones. Cuando se utilizan suelos ligeros es necesario evaluar su comportamiento dinámico, tal como nos demuestran los problemas de vibraciones que se originan al andar sobre ellos, por lo que es necesario diseñarlos teniendo en cuenta las vibraciones. Cualquier criterio de vibración debe basarse en el umbral de percepción y en la intensidad de la vibración que puede percibir una persona (que depende de factores psicológicos, como por ejemplo la concentración que se requiere

para trabajar). El criterio más aceptado es el de la norma ISO 2631, que define los umbrales de percepción en función de varios factores como el uso del edificio y la hora del día en que se producen (tabla 1). Las vibraciones de los suelos se definen por su vibración vertical; todas las vibraciones que se producen al caminar sobre un suelo están dentro del intervalo de frecuencias de 1 a 80 Hz. En la figura 1 se resumen los dos criterios (para oficinas y residencial) que se ensayaron en el edificio construido en Cardington.

Ensayos

El comportamiento dinámico de los suelos se mide de dos formas. En la primera, se deja caer en el centro del suelo un peso de 3 kilos, el impacto de la caída produce una vibración que se mide a través de la disminución de las oscilaciones y que permite identificar la frecuencia natural más importante. En la segunda, se mide la respuesta del suelo cuando una persona camina sobre él. En el edificio de Cardington se instalaron diferentes suelos, que se clasifican o corresponden con los tipos que se resumen en la tabla 2,



Figura 1 Umbral de percepción en función de la aceleración y de la frecuencia de la velocidad según el uso del edificio)

en dicha tabla 2 también se exponen los resultados de ensayos del impacto (frecuencia dominante en Hz) y del provocado al caminar un hombre sobre el suelo (aceleración).

Datos de los tipos de suelo:

- con viguetas de madera maciza de 235 mm de canto y 40 mm de anchura, con una luz máxima de 3656 mm.
- con viguetas de madera de doble T, con el alma de tablero de virutas orientadas y las alas de madera maciza.
- con viguetas mixtas, madera maciza en los bordes superiores unidos entre sí con tubos

metálicos.

La distancia entre ejes de vigas es de 600 mm, como tableros de cerramiento se utilizaron los tableros de virutas orientadas de 15 mm de grueso. Sobre algunos de los suelos se instalaron otros suelos acústicos (por ejemplo el integrado por rastreles de madera sobre los que se colocaron posteriormente tableros de yeso y de partículas).

Análisis de los resultados de acuerdo con el Eurocódigo 5

El Eurocódigo 5 especifica que los suelos deben cumplir los dos requisitos siguientes:

su frecuencia fundamental o dominante ha de ser superior a 10 Hz (aunque incluye una matización para los que tengan una frecuencia superior a 8 Hz) la velocidad máxima inicial de la vibración causada por un impulso de 1 Ns debe ser inferior a un valor que depende de la frecuencia producida (que a su vez es función del módulo de la elasticidad y del momento de inercia de cada material)

Los resultados de los ensayos realizados sobre los suelos instalados en Cardington reflejaron que:

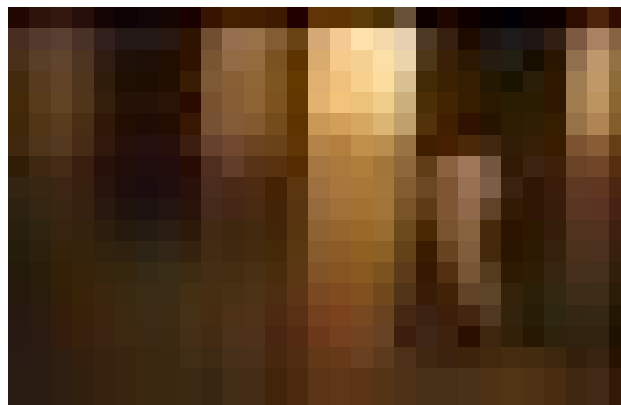
- ninguno de los suelos cumple los criterios para usos residenciales, pero tres de los tipos de suelos instalados cumplirían los de uso para oficinas.
- los suelos con viguetas de madera maciza no cumplen los requisitos relativos a la deflexión estática equivalente (esto puede explicarse porque se utilizó un espesor de tablero de virutas orientadas de 15 mm, si se hubiera utilizado uno de 22 mm los resultados habrían mejorado notablemente).
- para mejorar el comportamiento dinámico de los suelos se aconseja disminuir la distancia entre ejes de las viguetas o mejorar la energía de disipación de la espuma que soporta el suelo acústico

Tabla 1. Especificaciones de la norma ISO 2631

Utilización	Periodo	Vibraciones continuas	Vibraciones transitorias
Actividades especiales (hospitales, laboratorios)	Día y noche	1	1
Residencial	Día / Noche	2 / 1	30 / 1
Oficinas, comercial	Día y noche	4	60
Fábricas	Día y noche	8	90

Tipo de suelo	Viguetas	Adición de suelo acústico	Frecuencia dominante Hz	Respuesta rms (aceleración) mm/s ²
1	Doble T	SI	25	75
2	Doble T	NO	31	95
3	Con tubos metálicos	NO	24	110
4	Madera maciza	SI	24	135
5	Madera maciza	NO	25	150

Colocación de material resiliente para un pavimento flotante en el edificio probeta del proyecto TF 2000



Forjados madera- hormigón

MARIO L.R. VAN DER LINDEN
UNIVERSIDAD DE TECNOLOGÍA DE
DELFT-TNO, HOLANDA

Trabajo de investigación sobre la utilización conjunta de la madera y el hormigón en la construcción de forjados. Se realizaron ensayos sobre modelos reales y además se desarrolló un modelo de comportamiento mediante análisis por elementos finitos para la simulación de los casos ensayados. Este modelo se extrapolaba a otras geometrías diferentes para llegar a determinar su capacidad de carga y poder compararla con los métodos de cálculo simplificados que habitualmente se utilizan.

Introducción

En general, los requisitos de aislamiento acústico y de comportamiento al fuego en las viviendas multifamiliares son mayores que en las unifamiliares. Los forjados mixtos de madera y hormigón pueden constituir una opción verdaderamente adecuada en la construcción de forjados por las ventajas de comportamiento resistente y acústico que presenta. Sin embargo, su utilización es en la actualidad, realmente escasa. Esto es debido a la falta de

reglamentación o normativa que facilite el diseño de estas soluciones de una forma sencilla. La solución constructiva emplea viguetas de madera con las características habituales sobre las que se colocan conectores metálicos en la cara superior para servir de enlace con el hormigón vertido.

Construcción in situ o prefabricada

Un sistema de forjado mixto de madera-hormigón puede plantearse de dos formas diferentes; la primera y quizás la más habitual, consiste en verter el hormigón en la propia obra sobre el forjado de viguetas de madera. En este caso suele existir un tablero que sirve de encofrado y que dejará separada la capa de hormigón de la cara superior de la pieza de madera. El inconveniente que presenta es que la unión entre hormigón y madera será más flexible y por tanto el conjunto menos eficaz. La segunda posibilidad consiste en la prefabricación del conjunto en taller. En este caso el encofrado puede retirarse con mayor facilidad sin que

exista la necesidad de dejar separación entre ambos materiales. Sin embargo, su transporte es más delicado.

Probetas ensayadas

Las probetas ensayadas constaban de una viga de madera con una anchura de 100 mm y una altura de 200 mm. La capa de hormigón tenía un espesor de 70 mm y una anchura de 600 mm. Algunas de las probetas contaban con un tablero de partículas de 28 mm de espesor para comprobar el efecto del cerramiento existente.

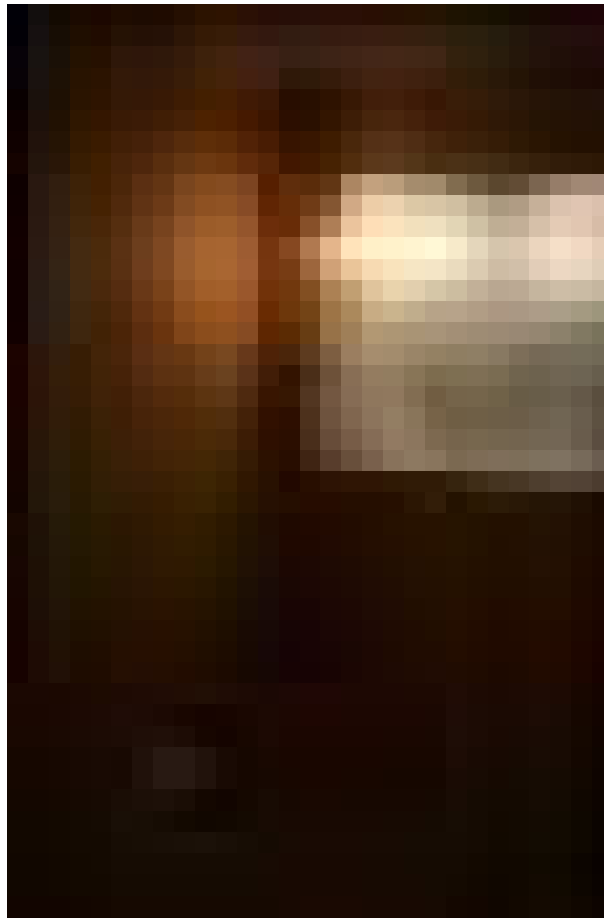
El conector que se utilizó consistía en una barra metálica de 20 mm de diámetro y una longitud de 160 mm introducida en la madera una profundidad de 110 mm. Además, se realizaba una embocadura consistente en un orificio de 70 mm de diámetro y una profundidad de 30 mm. Esta cavidad se rellenaba de hormigón durante el vertido y servía para repartir la carga sobre una mayor superficie. El comportamiento mecánico de estos conectores es plástico, sin que se observen roturas frágiles. Los

primeros síntomas de fallo se detectan sobre la cara del hormigón a través de fisuras en la cara traccionada.

Modelo para el análisis por el método de los elementos finitos

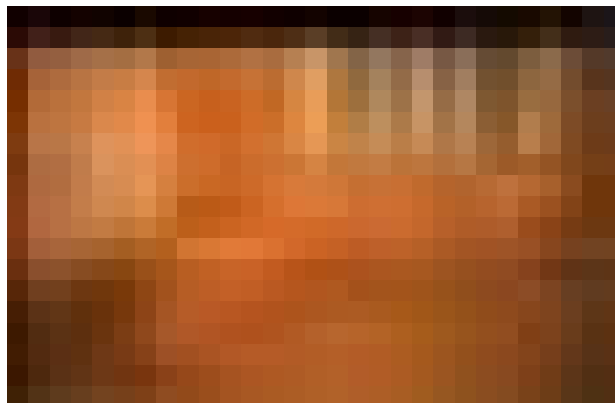
Como en todos los procesos de análisis por elementos finitos existen tres partes: La primera para la entrada de datos incluyendo la posibilidad de realizar una simulación por el método de Monte Carlo del material utilizado en las vigas de madera del forjado. De esta manera se puede simular la utilización de piezas de madera con la variabilidad de la calidad empleada. El programa genera automáticamente la malla y prepara la entrada adecuada para el programa DIANA (1.992).

El análisis consiste en pasos sucesivos no lineales hasta llegar al fallo de un conjunto de varias vigas. La tercera parte del programa es un postprocesador que almacena los datos relevantes de cada cálculo simple.



Medidas de deformación en Timber Frame 2000

Pruebas de carga en forjados. Timber Frame 2000



El modelo consiste básicamente en tres elementos: elementos de lámina de hormigón en la cabeza de la viga, elementos de viga para las piezas de madera y muelles de comportamiento no lineal para simular los conectores.

Conclusiones

Este sistema es una opción económica para la mejora de forjados de madera existentes. Se consigue un incremento de la rigidez y de la resistencia superior al aumento de peso de la propia solución.

El modelo de cálculo lineal propuesto en el Eurocódigo 5 para vigas con uniones mecánicas es suficientemente válido para la mayoría de los casos de forjados mixtos. No obstante, cuando el comportamiento de los materiales deja de ser lineal deberían utilizarse métodos más sofisticados.

Una solución de gran interés, que no ha sido estudiada en este trabajo, consistiría en la utilización de hormigones aligerados, ya que las tensiones en la cabeza comprimida son bajas y no se precisan calidades elevadas para el hormigón ■

VII Reunión del Cost E5

SÉPTIMA REUNIÓN DEL COMITÉ DE GESTIÓN DEL COST ACTION E5. (12 JUNIO 98) WATFORD, REINO UNIDO)

Esta reunión tuvo lugar en el BRE, después del Seminario sobre construcción con entramado de madera.

En esta reunión se sumaron tres nuevos países firmantes de la Acción COST E5: Rumania, Estonia y Rusia. De Rumania asistieron dos técnicos del Instituto Nacional de la Madera de Bucarest; de los otros países no asistió representante. Como suele ser habitual en la discusión sobre los resultados del Seminario celebrado en los días precedentes se destacaba la escasa asistencia de personas ajenas a los miembros del Comité de Gestión, así como la nula representación de Francia. El BRE ofreció su disposición a colaborar en acciones de investigación y ensayos conjuntos a realizar sobre la edificación-piloto de 6 plantas en Cardington, de su proyecto Timber Frame 2000.

La próxima reunión del Comité se realizará en Dublín, junto con un Seminario sobre el Comportamiento Acústico en la edificación de madera de media altura (3 y 4 de diciembre de 1998). Existe un borra-

dor con el contenido de este seminario cuyos temas principales los siguientes:

- Problemas acústicos en la construcción con madera comparados con edificios de hormigón.
- Normativa sobre acústica en los países europeos.
- Modelos de comportamiento acústico en falsos techos de madera.
- Modelos de predicción de aislamiento a ruido de impacto en forjados de madera.
- Evaluación y medidas in situ en edificios de madera de media altura.
- Soluciones de mejora del aislamiento acústico.
- Bases resilientes contra el ruido por impacto en forjados.

La siguiente reunión coincidirá con otro Seminario sobre Fabricación de casas de madera y tendrá lugar en Delft, Holanda, durante los días 19 y 21 de mayo de 1999. Como conferenciantes asistirán fabricantes y constructores de viviendas en madera, entre los que es probable que se encuentre algún español para exponer la situación actual en nuestro país. La Acción Cost ES termina en octubre del 2000, y después del Seminario de Delft se



prevén dos más. Una de ellas se celebraría en Florencia, en diciembre de 1999 y trataría posiblemente aspectos como las fachadas en madera y la durabilidad. El último seminario que tendrá lugar en el 2000, podría celebrarse en España o tal vez en Finlandia, y recogería un aspecto que no se ha considerado en esta acción, que es el tratamiento arquitectónico de la construcción en madera. Los conferenciantes de este seminario serían, principalmente, arquitectos europeos que proyectan y construyen con madera. En el

Comité de Gestión se reconoce la importancia que tiene, para el desarrollo de la construcción con madera, la figura del arquitecto. A este tema del Seminario podrían también ligarse otros como el de la durabilidad y otros que se consideren de interés.

