

LIGNOMAD17

Congreso sobre Construcción con Madera y otros Materiales Lignocelulósicos

Barcelona 29-30 de junio y 1 de julio de 2017

Libro de resúmenes



Congreso sobre Construcción con Madera y otros Materiales Lignocelulósicos

Libro de resúmenes

LIGNOMAD17

Red para el impulso de la madera y otros materiales lignocelulósicos en el sector de la construcción

Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona EPSEB
Universitat Politècnica de Catalunya UPC

Barcelona
29-30 de junio y 1 de julio de 2017

Red financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad de España en el marco del programa Acciones de dinamización "Redes de Excelencia"

El presente libro de resúmenes recoge los trabajos presentados durante el congreso LIGNOMAD17 en las sesiones orales y en la sesión de pósters.

Organizadores: Grupo GICITED
Grupo Interdisciplinar de Ciencia y Tecnología en Edificación
Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona EPSEB
Universitat Politècnica de Catalunya UPC

Ana María Lacasta
Responsable de la red LIGNOMAD

Edición: María Pilar Giraldo Forero

ISBN 978-84-9880-665-6

Universitat Politècnica de Catalunya

ÍNDICE

Jaume Avellaneda Díaz Grande. **La madera: un material esencial.**	1
Arriaga, F., Íñiguez-González, G., Llana, D.F., Bobadilla, I., Esteban, M. **Consideraciones relativas a la inspección de estructuras de madera para la determinación de sus propiedades mecánicas.**	7
Rubén Regueira, José A. Lorenzana, Elisa Otero, Ramón Díaz, Manuel Guaita. **Análisis comparativo mediante métodos numéricos del comportamiento mecánico de vigas cajón estructurales de madera de Picea abies y de Eucalyptus globulus.**	12
Balmori Jose-Antonio; Morillas Leandro; López Gamaliel; Acuña Luis; Casado Milagros; Basterra Luis-Alfonso. **Ensayos a fluencia de vigas dúo y vigas dúo reforzadas (GFRP) DE Populus x euroamericana I-214.**	17
Fernández-Golfin Seco, J.I., Conde García, M., Diez Barra, MR., Conde García, M., Acuña Rello, L.3, Torres Álvarez, E., Perea Alonso, E., Troya, M.T. **Comportamiento de la madera al exterior fuera del contacto con el suelo: resultados preliminares del proyecto BIA 2013-42434R.**	23
Edgar Segués, Inmaculada R. Cantalapiedra, Francisco López Almansa. **Nueva tecnología de construcción mixta ligera acero-madera para edificios sismo-resistentes.**	28
Carolina Griebeler, Carmen Iglesias, Sergio Ruiz. **Análisis diferencial de propiedades de hinchamiento y dureza del Eucalyptus globulus segmentado por color y termo-tratado a diferentes temperaturas.**	33
David Lorenzo, Juan Fernández-Golfín, Alfonso Lozano, Manuel Guaita, Manuel Touza. **La durabilidad de las estructuras de madera al exterior construidas en el norte de España. El ejemplo de una estructura de madera en Pontevedra y la importancia del diseño constructivo en la durabilidad.**	38
Javier Estévez-Cimadevila, Dolores Otero-Chas, Emilio Martín-Gutiérrez, Félix Suárez-Riestra. **Sistema de autotensado para forjados de madera.**	43
J. Galván, D. Lorenzo, L. Robertson, C. Villagrá, J. Queipo, M. Gaju, M.T. Troya. **Sistematización de la intervención en edificaciones con estructuras de madera: UNE 56418.**	48
Osuna, C., Íñiguez-González, G., Esteban, M., Llana, D.F., Arriaga, F. **Particularidades de la aplicación de las técnicas no destructivas en piezas de madera de gran longitud procedentes de estructuras existentes.**	53
Josep Bunyesc. **La construcción con madera adaptada a diferentes tipologías y a diferentes entornos des de la ciudad a lugares extremos de alta montaña.**	58
Joan Ramon Rosell, Albert Albareda, Jordi Maristany, Montserrat Bosch, Jon Cory Wright, Marc Fando, Iñigo Mujika. **Escenario efímero de caña común para Primavera Sound 2017, Barcelona.**	63
J. F. Hidalgo-Cordero , J. García-Navarro. **Revisión sobre las aplicaciones y potencial de la Totora como material en la construcción sostenible.**	68
J. Carranco, M. Palumbo, A.M. Lacasta. **Desarrollo de materiales aislantes térmicos basados en subproductos agrícolas para la mejora del confort térmico en Burkina Faso**.	73

Ramon Llobera i Serentill. **Construcción en madera contralaminada. Edificio plurifamiliar de seis plantas en Lleida.**	78
Natalia Torres, Omar Avellaneda, Diana Peña. **SMiA. Structural Morphology in Architecture, experiencias constructivas con madera.**	86
Julio López, Toni Escudé. **Edificios de varias plantas de madera. Edificio Magalhaes, Poble Sec Barcelona**.	92
Eduard Correal-Mòdol, Jordi Gené Sera, Xavier Felip Garcia, Mar Campanero Sala, Carles Labèrnia Badia. **Uso responsable de los productos madereros en elementos urbanos.**	98
Oliver Style, Mike Lawrence. **Proyecto ISOBIO: trazando la vía para el desarrollo de materiales de construcción naturales a gran escala.**	102
José Manuel Cabrero, Vladimir Rodríguez. **Avances de la Acción COST FP1402: de la investigación a la futura normativa.**	105
Eva Hermoso, Emilio Luengo, Juan Carlos Cabrero. **Valoración de tableros de CLT según la norma EN 16351.**	110
Makoto Isawa. **Las uniones tradicionales de madera.**	115
Clara Vidal, Carlota de Gispert, Ivet Gasol. **"La comunidad habitacional", viviendas sociales en la "Illa Glòries" con estructura de madera.**	117
Jorge Blasco Miguel. **Rompiendo las barreras de la construcción en madera.**	121
Natalia Lasarte, Unai Gorroño, Josu Benito, Nestor Piris. **Building Energy Renovation through Timber Prefabricated Modules (BERTIM).**	126
Juan Enrique Martinez-Martinez, Felipe Pedro Álvarez Rabanal, Juan José del Coz Díaz. **Análisis del comportamiento estructural de uniones de madera sometidas a la acción del fuego.**	131
Marc Romero Puente. **Farhaus AF1 - Sistema modular en madera.**	136
Mari Jose Barriola Baraibar. **Proyectos educacionales en madera: Aplicación digital Normadera y Gutik-Zura.**	143
Laia Haurie, María Pilar Giraldo, Ana María Lacasta, Joaquín Montón, Rodolphe Sonnier. **Influencia de diferentes parámetros en el comportamiento al fuego de siete especies de frondosas mejicanas.**	146
Alfonso Lozano, Juan Enrique Martínez Martínez, David Lorenzo, Pelayo Valle Pello. **Rehabilitación energética y estructural de fachadas con madera y derivados de la madera: paso de C.U 3 a C.U. 1.**	151
Laiz Alonso Pablo, Casado Sanz Milagros, Acuña-Rello Luís, Martín-Gil Jesúsa, Silva Iosody, Martín-Ramos Pablo. **Síntesis de compuestos con quitosano y nanocobre y estudio de su actividad fungicida frente al hongo de pudrición de la madera Trametes versicolor.**	156

La madera: un material esencial

Jaume Avellaneda Díaz Grande. Departamento de Tecnologia de l'Arquitectura (UPC)
Jaume.avellaneda@upc.edu

Palabras clave: Construcción; Materiales esenciales; Puentes; Acueductos; Graneros; Viviendas

Resumen

La ponencia manifiesta la importancia que históricamente ha tenido la construcción en madera. Se ha empleado la madera para construir puentes, graneros, traídas de agua, viviendas … y todo aquello que permitió la evolución de la sociedad. También pone en relieve que hoy en día se sigue utilizando la madera en construcciones y productos que igualmente pueden considerarse esenciales.

1. Las construcciones esenciales

Hemos vivido un período en que aparentemente todo era posible, aunque de antemano se supiese que aquello que se quería hacer era de dudosa utilidad. Esta situación también se dio en el ámbito de la arquitectura. Se construyeron estadios deportivos, aunque posteriormente hubiera que inventarse actividades más o menos ficticias para llenarlos. Se construyeron aeropuertos, aunque no había compañías aéreas que quisieran utilizarlos. Se construyeron recintos feriales, aunque no había previsión de actividad económica alguna. Se construyeron miles de viviendas, incluso ciudades, que obligaron a la gente a hipotecarse por el resto de sus vidas y las de sus descendientes y lo más paradójico es que hoy en día muchas de ellas permanecen vacías.

A lo largo de la historia no siempre se ha actuado de la misma manera. Las construcciones se hacían para cubrir necesidades tangibles; escolarización, comercio, protección frente a los elementos, necesidades de agua y alimentos, se las podría llamar *construcciones esenciales*. Las sociedades por otra parte no han sido excedentarias en recursos por lo que tenían que agudizar el ingenio para hacer las *construcciones esenciales* a partir de unos *materiales esenciales* como la tierra, la piedra, la madera, las fibras o la cerámica

2. La madera material esencial

2.1 La madera y la construcción de vías de comunicación

Puentes cubiertos de madera. La película *Los puentes de Madison Country* (1995) evidenció la existencia de este tipo de puente que era corriente en muchas zonas de los Estados Unidos de América. Algunas publicaciones aseguran que se llegaron a construir 15.000 puentes cubiertos en unos 200 años. Los estados que hoy en día conservan un mayor número de puentes cubiertos son: Indiana, Ohio, Pennsylvania, Vermont y Oregón. También se pueden encontrar en Canadá, principalmente en Quebec.

Datan del siglo XIX e inicios del siglo XX, están construidos íntegramente en madera a partir de sistemas como King Post / Queen Post / Vigas Warren / Vigas Pratt / Vigas en retícula / Arcos y tablero suspendido. La imaginación de los ingenieros les llevó a sistemas constructivos especiales que fueron patentados.

Podían ser de uno o varios tramos. La luz de cada tramo solía ser de 25 a 30 m. Las principales razones por las que se cubrían eran: evitar que se quedaran colapsados por la nieve y mejorar la durabilidad de la madera impidiendo que el agua se quedase atrapada en las juntas lo que conllevaría la pudrición de la madera.

El hecho de que la mayoría de puentes se localicen en el norte de los Estados Unidos convierte en plausible estos motivos.

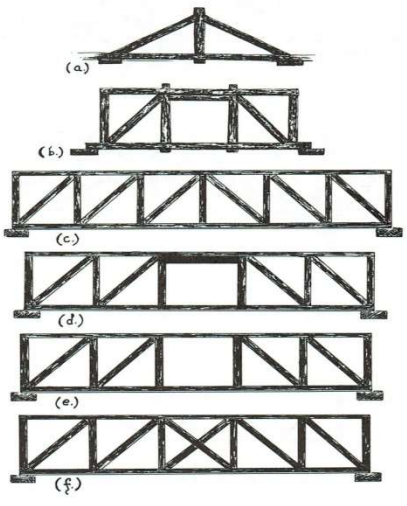


Figure 19 a-f. The Kingpost Truss and Variations
a. Kingpost, b. Queenpost, c. MKP, d. MKP/QP Combination, e. MKP with open center panel, f. MKP with X brace in center panel

Fig. 1: Algunos tipos estructurales que se utilizaron en la construcción de los puentes cubiertos (The covered bridges in Ohio. Miriam Wood)

Se pueden encontrar puentes cubiertos de madera en otras partes del mundo, como los conocidos puentes de Lucerna sobre el lago Como del año 1.400 o el puente de Xianju en China del año 1453

2.2 La madera y la construcción de hórreos y graneros

Hórreos asturianos. Quizás no ha habido una construcción tan esencial como aquella que preservaba la cosecha y permitía a la sociedad alimentarse en épocas en que las condiciones climáticas impedían seguir recolectando alimentos. Existe una gran cantidad de tipos de hórreos y graneros y para su construcción se utilizaron los llamados materiales esenciales; la madera, la cerámica, la piedra, la tierra y las fibras naturales.

El hórreo asturiano, a diferencia del gallego, está construido casi integralmente en madera a excepción de la escalera y la cubierta.



Fig. 2. Hórreo asturiano construido en madera

Las maderas empleadas eran el roble y el castaño. El *pegoyo* o pila que aguanta el hórreo era construido en madera o en piedra, por su diseño evitaba que los roedores entrasen en el interior y se comiesen la cosecha. El hórreo asturiano también se utilizaba como almacén y en ocasiones como dormitorio adicional de la vivienda. En el cantón suizo de Valais se pueden encontrar igualmente hórreos de madera.

No obstante, dentro de las construcciones realizadas para guardar alimentos merece citarse el *barn,* construcción con estructura de madera común en los Estados Unidos y de gran interés tecnológico.

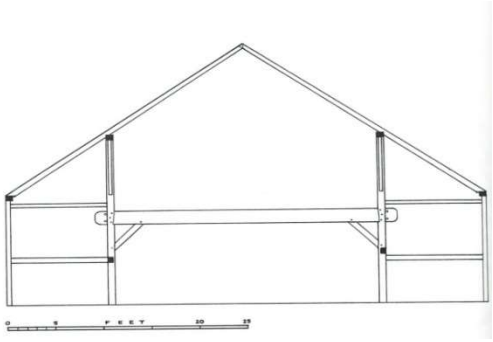


Fig. 3. Sección de un barn. La viga central o puente es la encargada de dotar de estabilidad a la estructura. (The new world dutch barn. John Fitchen. Syracuse University Press)

El granero americano se utilizaba también como almacén. Los colonizadores llevaron consigo la tecnología de madera de su tierra natal, existe el Dutch barn; el English barn; el Shaker Barn; el Pennsylvania barn, cada uno de ellos con sus características propias. El ancho total solía rondar los 15 m y la longitud era variable en función del espacio que se necesitase. También en este caso una película; *El único testigo* (1985) mostraba cómo la comunidad *amish* colaboraba en la rápida construcción de un *barn.*

2.3 La madera y la construcción de acueductos, norias o depósitos de agua

La madera también ha sido utilizada para abastecer de agua a las poblaciones. Encontramos con acueductos en los que el canal superior está realizado en madera y está poyado, como si se tratase de una viga, en pilastras de piedra. En los Alpes se pueden encontrar canales de agua bordeando precipicios. También son interesantes las construcciones estadounidenses denominadas “flumes”, enormes toboganes que tenían la función de conducir los troncos con ayuda de agua desde las zonas de tala a las cotas inferiores.

Especial atención merecen las norias cuyo objetivo era la elevación de agua desde un curso de agua inferior. Es muy conocida la noria de la Albolafia en Córdoba construida con anterioridad a 1492.



Fig 4. Tobogán de madera para la conducción de troncos por gravedad

2.4 La madera y la construcción de viviendas

La madera ha sido empleada históricamente en la construcción de las viviendas es decir en la provisión de cobijo para los seres humanos. Encontramos viviendas tradicionales en madera en Europa, Asia, África, América y Oceanía. Obviamente en las zonas con recursos madereros se encuentran construcciones de gran valor arquitectónico como ocurre en el norte de Europa o en algunas zonas de Asia.



Fig.5. Interior de una vivienda de madera en Noruega

2.5 La madera y la construcción de mercados

El mercadeo ha sido y es una de las actividades esenciales de la humanidad, proporciona riqueza, pero también socializa y enseña a negociar lo que permite aproximar los puntos de vista. Durante la edad media se construyeron en la Europa central mercados o *halles* con estructura de madera, alguno de los cuales como la halle de Beaumont en Francia (Siglo XIII) aún existe.

2.6 La madera y la construcción de molinos de viento

Los molinos de viento han permitido a la humanidad moler el grano para obtener alimento, pero también, como es el caso de los molinos holandeses, desecar campos y hacerlos productivos. Los materiales con los que se construyeron dependían de los recursos que existían en la zona, es usual encontrar molinos de viento construidos íntegramente en madera, incluso su engranaje.

3. La madera sigue siendo un material esencial

El material madera ha persistido y al mismo tiempo ha evolucionado a lo largo de los siglos. En un momento determinado parecía que su influencia como material de construcción se había reducido, hoy en día el discurso de la construcción sostenible ha vuelto a poner a la madera en la primera línea de manera que no sólo se sigue construyendo con este material las construcciones esenciales, sino que muchos de los productos que anteriormente se fabricaban en acero u hormigón ahora empiezan a fabricarse en madera.

Bibliografía

The covered bridges in ohio. An Atlas and History. Miriam Wood. Ed. Thunder Bay Press.
America's covered bridges. Terry E. Miller and Ronald G. Knapp. Ed. Tuttle.
El horreo asturiano. Esperanza Ibáñez Aldecoa. Ed Tera.
Horreos y palafitos de la península ibérica. Eugeniusz Frankowski. Ediciones Istmo.
The american barn. Randy Leffingwell. Ed. Motorbooks Classics.
The new world dutch barn. John Fitchen. Syracuse University Press.
Antichi sistemi di irrigazione nell'arco alpino. Gianni Bodini. Priuli & Vertucca editori.
Norwegian wood. A traditon of building. Jerry Holan. Ed Rizzoli.
Wooden wonders. Victoria's timber bridges. Don Chambers. Hyland House Publishing.

Consideraciones relativas a la inspección de estructuras de madera para la determinación de sus propiedades mecánicas

Arriaga, F.[a], Íñiguez-González, G.[a], Llana, D.F.[a], Bobadilla, I.[a], Esteban, M.[a].
[a] Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid, MONTES (ETS de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural), España.
francisco.arriaga@upm.es

Palabras clave: estructuras de madera existentes, clasificación, geometría, métodos no destructivos, peritación, propiedades mecánicas

Resumen

Este estudio se fundamenta en un análisis de los resultados de numerosos trabajos de investigación experimental con piezas de madera de gran escuadría nueva y antigua, con el fin de extraer conclusiones que ayuden en la elaboración de un protocolo para la inspección. Se plantea la posibilidad de que la estimación de las propiedades pueda realizarse sin dependencia de la especie. También se analiza la influencia de la variación de las dimensiones de las piezas en la determinación de las propiedades mecánicas como ocurre en la práctica en estructuras antiguas. La clasificación visual debe contar con un enfoque diferente al que siguen las normas de clasificación actual para madera nueva. La determinación de algunas variables físicas como la dureza o la resistencia a la penetración superficial y la velocidad de transmisión de ondas en el material plantean algunos problemas de método para la toma de datos a resolver. Se trata de un trabajo todavía en desarrollo dentro de un proyecto de investigación.

Introducción

En el proceso para la determinación de la capacidad portante de estructuras de madera existentes pueden diferenciarse tres fases principales. La primera es la inspección donde se toman los datos necesarios sobre las piezas que constituyen la estructura; la segunda corresponde a la estimación de las propiedades mecánicas de las piezas a partir de los datos de la primera fase; y, la tercera, la comprobación de la estructura, o, simplemente la determinación de su capacidad portante. Esta comunicación plantea unas consideraciones generales sobre la primera parte de este proceso de inspección y toma de datos. Dentro del mismo se encuentra la identificación de la especie, la geometría de la estructura, la clasificación visual, la determinación del contenido de humedad y la medición de variables necesarias para la estimación de la densidad y del módulo de elasticidad.

Lotes homogéneos e identificación de la especie

En la inspección preliminar de la estructura es necesario comprobar si existen diferentes tipos estructurales en relación a sus características geométricas (escuadría y su variabilidad y longitud), especie de madera, calidad estructural y época de construcción. Cada lote homogéneo deberá ser estudiado de manera independiente.

La identificación de la especie utilizada en una estructura, en principio, es necesaria para estimar las propiedades mecánicas. En España las especies que se pueden encontrar en obras antiguas se reducen a muy pocas, principalmente las siguientes:

Coníferas: pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), pino laricio (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco) o Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait. ssp. *mesogeensis* Fieschi&Gaussen). En el caso de las especies de pino silvestre y laricio no es posible diferenciarlas mediante muestras microscópicas, por lo que tendrían que agruparse. También es posible encontrar en la misma estructura dos especies distintas, como el pino silvestre y el pinaster. Otro caso menos frecuente es el del grupo de especies del pino Amarillo del Sur (*Pinus echinata* Mill*, elliottii* Engelm*, palustris* Mill*., taeda* L.) que puede encontrase en el norte de España.

Frondosas: Roble (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) y Castaño (*Castanea sativa* Mill.) en el Norte de España, y chopo (*Populus alba* L., *Populus nigra* L.).

Geometría

La capacidad de carga de una pieza de madera depende de las propiedades mecánicas del material (resistencia y módulo de elasticidad) y de las dimensiones de la sección. La escuadría de la madera aserrada producida actualmente tiene una gran regularidad en sus dimensiones y en la práctica la sección es constante en un lote homogéneo. Sin embargo, en estructuras antiguas la sección no es ni siquiera perfectamente rectangular y presenta una importante variación a lo largo de la pieza y también entre piezas del mismo lote. En estos casos, incluso el método de medición influye en los resultados obtenidos. Generalmente, en la obra las dimensiones de la sección transversal se miden con cinta métrica, o en algún caso con forcípula (calibre). Al no ser perfectamente rectangular la sección y presentar gemas, existe una variación muy elevada al tomar las medidas. También es frecuente el caso de secciones con rebajes laterales para el apoyo del entrevigado. La sección en la práctica se considera rectangular y se comete otro pequeño error que se acumula a los anteriores.

Los coeficientes de variación de las dimensiones de la sección en madera aserrada nueva son, normalmente, inferiores al 2% y para el momento de inercia quedan por debajo del 3%. Sin embargo, en lotes de madera procedentes de edificios antiguos el coeficiente de variación de las dimensiones se sitúa entre el 6 y 9% y para el momento de inercia entre el 16 y 21%.

Clasificación visual resistente

Las normas de clasificación visual de la madera por resistencia están pensadas para su aplicación a las piezas producidas en un aserradero, con el fin de clasificarlas en unos grupos por sus diferentes propiedades mecánicas. En este proceso siempre hay una pequeña parte de la madera que es rechazada para su empleo estructural por no cumplir los requisitos de la calidad inferior. Cuando este tipo de normas se aplican a las piezas de madera antigua en estructuras existentes se presentan algunos inconvenientes que se citan a continuación. En primer lugar, lo más frecuente es que en el lote analizado se encuentren piezas asignadas a varias de las calidades definidas en la norma, e incluso un grupo de piezas rechazadas. Normalmente en estructuras existentes antiguas, la calidad media o baja de la norma es la más frecuente, y las calidades altas y el rechazo son menos frecuentes. La cuestión que se plantea es que no es posible descartar las piezas rechazadas en una estructura ya construida, ni tampoco tiene sentido.

En segundo lugar, en las estructuras existentes no siempre es posible acceder a las cuatro caras de la pieza (normalmente es posible a 3 y a veces quedan totalmente ocultas). Por tanto, la clasificación visual queda incompleta. Por último, puede comentarse que algunos de los defectos que se consideran para la clasificación de madera tienen poca relevancia en el caso de estructuras existentes. Las fendas, que tienen una mayor presencia en las piezas de gran escuadría, sin embargo, no implican una significativa pérdida de capacidad de carga (1). De manera similar, el efecto de las gemas que también son muy frecuentes en piezas antiguas y de gran escuadría, en general se considera que sólo suponen una pérdida de sección, pero no reducen su resistencia. Existe incluso un efecto favorable ya que la continuidad de las fibras no se pierde en la superficie de la gema, al contrario de lo que ocurre en la superficie plana aserrada (2, 3) que puede llegar a compensar la pérdida de sección. De esta manera los defectos más relevantes en la clasificación serán los nudos y la desviación de la fibra. En algunos estudios experimentales se propone realizar la clasificación en función únicamente de los parámetros de nudos y desviación de la fibra (4).

Contenido de humedad

La medición del contenido de humedad de la madera en la inspección de la estructura tiene dos objetivos. El primero es localizar las zonas con elevada humedad, ya que la presencia de los hongos y de algunos insectos como las termitas, están ligados a un elevado contenido de humedad. El segundo objetivo es corregir los datos registrados mediante técnicas no destructivas a un contenido de humedad de referencia (normalizado), cuando la madera presenta un contenido de humedad elevado en una situación temporal o accidental.

No obstante, no siempre será necesario realizar este ajuste. Si se desea clasificar madera nueva, es necesario referir las propiedades mecánicas a unas condiciones de referencia (en el cálculo de estructuras corresponde a las condiciones de HR del

65%±5% y T de 20±2ºC, que aproximadamente corresponden con una humedad de equilibrio higroscópico del 12% en las coníferas). Sin embargo, cuando se pretende estimar las propiedades mecánicas de la madera de una estructura existente y el contenido de humedad está estabilizado a las condiciones de equilibrio higroscópico medias del local no es necesario corregir al 12%. De esta manera las propiedades mecánicas serán directamente aplicables a las condiciones de servicio.

Mediciones no destructivas para la estimación de la densidad y del módulo de elasticidad

La estimación de las propiedades mecánicas de la madera mediante técnicas no destructivas se basa en obtener el módulo de elasticidad dinámico y a partir de él deducir la rigidez del material y su resistencia a flexión. El módulo de elasticidad dinámico se obtiene a partir de la densidad de la madera y de la velocidad de transmisión de ondas. La densidad se puede estimar mediante equipos portátiles que miden la resistencia a la penetración de una varilla o de una punta, la resistencia al arranque de un tirafondo, la extracción de viruta mediante un taladro (5), o la extracción de probetas cilíndricas testigo (6).

La velocidad de las ondas puede determinarse mediante equipos portátiles capaces de medir el tiempo de vuelo de la onda entre dos puntos de la pieza. Pueden utilizar ultrasonidos u ondas de impacto (generadas mediante el impacto con un martillo que golpea la pieza). Estas últimas son más prácticas en obra, ya que los ultrasonidos requieren un taladro previo para encajar los sensores, mientras que en los de impacto los sensores se clavan en la superficie.

Es importante el análisis de algunos factores en la toma de datos no destructivos como son el número de lecturas a registrar en cada pieza, el lugar donde se deben tomar, el número de piezas a muestrear dentro de un lote homogéneo para alcanzar una representatividad suficiente. También la forma de colocar los sensores para la medición de los tiempos de vuelo, y la distancia mínima recomendada para evitar errores de lectura que aparecen en distancias excesivamente cortas.

Conclusiones

El trabajo aquí descrito es un primer análisis y estudio reflexivo de trabajos experimentales anteriores, y sólo corresponde a la parte relativa a la inspección. Por tanto, no es posible extraer todavía conclusiones, pero sí se apuntan las siguientes. Es indispensable mantener un enfoque práctico en la elaboración de un protocolo de inspección para estructuras existentes, de manera que las propuestas de actuación sean realistas y en lo posible generalizables.

Esta primera fase del trabajo relativa a la inspección se continuará con las fases de estimación de las propiedades mecánicas de la madera, y con la final de evaluación de la capacidad portante de la estructura. Las tres fases están interrelacionadas, de

manera que al terminar el proceso puede ser necesario modificar alguna de las fases iniciales. La verificación de su validez debería realizarse mediante su aplicación a casos reales de evaluación de estructuras existente. Es entonces, cuando verdaderamente podrían extraerse las concusiones de este trabajo.

Agradecimientos

Ministerio de Economía y Competitividad, España, Programa Estatal I + D, 2013–2016 (Ministry of Economy and Competitiveness, Spain, State Plan, Research and Development), Proy.: BIA2014-55089-P. Intrama (Industrial Transformadora de la Madera S.A.). Antonio Arce Rodríguez.

Referencias

(1) Esteban, M., Arriaga, F., Íñiguez, G., Bobadilla, I., Mateo, R. (2010). The effect of fissures on the strength of structural timber. Materiales de Construcción. Mater. Construcc., Vol. 60, 299, 115-132. DOI: 10.3989/mc.2010.48208

(2) Arriaga, F., Esteban, M., Argüelles, R., Bobadilla, I., Íñiguez, G. (2007). The effect of wanes on the bending strength of solid timber beams. Materiales de Construcción (mater construcc). Vol. 57, nº 288, pp: 61-76.

(3) Esteban, M., Montero, M.J., Mateo, R., Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Bobadilla, I. (2011). Análisis comparativo de procedimientos para la medición de las gemas y evaluación de su influencia en la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de Pinus sylvestris L. de gran escuadría. Proceedings of CIMAD-11, 1er Congreso Ibero-Latinoamericano da Madeira na Construcao, Coimbra, Portugal. ISBN: 978-989-96461-2-4, 223-224.

(4) Arriaga, F., Esteban, M., Relea, E. (2005). Evaluation of the load carrying capacity of large cross section coniferous timber in standing structures. Materiales de Construcción (mater construcc). Vol. 55, nº 280, pp: 43-52.

(5) Martínez, R.D., Calvo, J., Arriaga, F., Bobadilla, I. (2017). In situ density estimation of timber pieces by drilling residue analysis. European Journal of Wood and Wood Products, in press.

(6) Íñiguez-González, G., Montón, J., Arriaga, F., Segués, E. (2015). In-situ assessment of structural timber density using non-destructive and semi-destructive testing. BioResources 10(2), 2256-2265. DOI: 10.15376/biores.10.2.2256-2265.

Análisis comparativo mediante métodos numéricos del comportamiento mecánico de vigas cajón estructurales de madera de Picea abies y de Eucalyptus globulus

Rubén Regueira[a], José A. Lorenzana[a], Elisa Otero[b], Ramón Díaz[c], Manuel Guaita[a]
[a]Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario s/n, 27004 Lugo, España
[b]Maderas Besteiro, Carretera de Friol, Km. 1, 27233 Lugo, España
[c]Gompute, Byfogdegatan 6 - 415 05 Göteborg, Suecia
ruben.regueira@usc.es

Palabras clave: vigas cajón, método de los elementos finitos (MEF), simulación numérica, madera estructural.

Resumen

En este trabajo se estudia a nivel teórico el comportamiento estructural de vigas cajón prefabricadas de madera. Estos elementos ofrecen una serie de ventajas sobre las vigas tradicionales: montaje más sencillo, mayor ligereza; mejor desempeño estructural; y mayor versatilidad ante requerimientos de diversa índole (acústicos, de resistencia a fuego, de aislamiento térmico, etc.) al permitir diferentes configuraciones en cuanto a morfología, materiales y dimensiones.

Se parte del análisis un prototipo de viga cajón existente ya en el mercado, elaborado con madera de *Picea abies,* de forma cuadrada y de 200 x 200 mm. Las tablas que forman el elemento superior e inferior tienen 30 mm de espesor, y las verticales 28 y 26 mm. Se realizó un análisis mediante elementos finitos empleando el software comercial Ansys del comportamiento estructural de una viga cajón de ese tipo de una longitud de 6,5 m a temperatura ambiente. Posteriormente se realizó una simulación termo-mecánica para analizar el comportamiento estructural en situación de incendio, y finalmente se realizó un análisis modal para comprobar su frecuencia natural de vibración.

Se elaboró posteriormente un nuevo modelo numérico empleando como material *Eucalyptus globulus*. Las propiedades de este material se determinaron mediante ensayos experimentales. Dadas las mayores prestaciones de la madera de eucalipto sobre las de pícea, fue posible reducir el espesor de las tablas que componen la viga cajón hasta los 15 mm, obteniendo el mismo desempeño estructural a temperatura ambiente. En situación de incendio la velocidad de carbonización obtenida se redujo de 0,72 mm/min para picea a 0,52 mm/min para eucalipto. En cuanto a la frecuencia de vibración, se pasó de 13,61 Hz en el caso de la pícea a 14,31 Hz en el del eucalipto.

Introducción

Uno de los sistemas de construcción en madera más utilizados en España es el sistema de entramado ligero. Este sistema presenta desventajas con respecto a la utilización de soluciones más novedosas, como el de vigas cajón, de reciente aparición en el mercado centroeuropeo. El peso puede llegar a reducirse desde un 3% a un 13%, y el tiempo de montaje en obra hasta un 45% más rápido en comparación con un sistema tradicional. Esto significa llegar a un ahorro del 28% en costes de mano de obra, y que cada vez sea más común acudir a productos prefabricados, tallados por control numérico y de fácil montaje, o módulos constructivos montados en taller.

Las vigas cajón elaboradas en Europa Central se ejecutan principalmente con madera de *Picea abies*, especie de uso ampliamente extendido en productos tecnológicos de madera en Europa. En España existe madera estructural de *Eucalyptus globulus*, cuyas propiedades mecánicas han sido evaluadas recientemente (1), presentando unas características elásticas y resistentes superiores a las de la *Picea abies*. En este trabajo, a través de una simulación con un modelo numérico elaborado mediante el método de los elementos finitos se estudia la viabilidad de un producto estructural de vigas en cajón en madera de eucalipto, comparando su dimensionado y rendimiento con el de un producto semejante en madera de pícea ya existente en el mercado europeo.

Objetivos

Analizar empleando el software comercial Ansys (3) el comportamiento estructural de un sistema estructural de vigas cajón de madera de eucalipto, comparándolo con el desempeño de un producto similar elaborado en madera de pícea y que es conocido. Además del desempeño mecánico a temperatura ambiente, también se desea estudiar el desempeño estructural en situación de incendio, así como el comportamiento vibratorio mediante un análisis modal.

Materiales y métodos

Materiales

Para la realización de los modelos numéricos se empleó el software comercial de elementos finitos Ansys en su versión 17, instalado en el HPC de la empresa Gompute (4), con el que se interoperaba empleando un sistema de escritorio remoto.

Métodos

Geometría del sistema estructural de vigas cajón

Se modelizó un sistema de forjado de madera compuesto por cinco vigas cajón. El modelo fue parametrizado, permitiendo de este modo variar fácilmente determinadas dimensiones de diseño de interés, como por ejemplo los espesores de las piezas. La geometría de partida fue la indicada en las Fig. 1 y Fig. 2, incluyéndose tablas rigidizadoras transversales separadas entre sí 600 mm y 200 mm de los apoyos extremos.

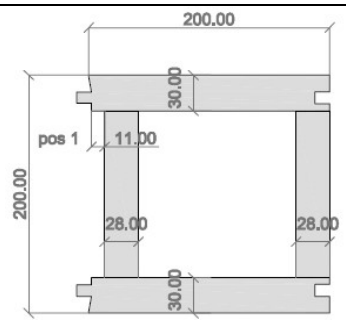


Figura 1. Dimensiones de la viga cajón de partida



Figura 2. Renderizado 3D del sistema de forjado formado por ensamble de vigas cajón en continuo.

Modelo estructural

Con la geometría definida en el punto anterior, se elaboró un modelo estructural estático en Ansys Workbench (3). Se definieron dos materiales ortótropos para dicho modelo, *Picea abies* y *Eucalyptus globulus*, con los valores indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de Eucalyptus globulus (1) y *Picea abies (2)*

	Módulos de elasticidad longitudinal (N/mm²)			*Módulos de elasticidad transversal (N/mm²)*			*Coeficientes de Poisson*					
	E_L	E_R	E_T	G_{LR}	G_{LT}	G_{RT}	υ_{RT}	υ_{LT}	υ_{LR}	υ_{TR}	υ_{RL}	υ_{TL}
Eucalyptus globulus	21.939	2.420	1.165	1.756	969	533	0,70	0,59	0,45	0,33	0,05	0,03
Picea abies	11.600	892	552	779	672	76	0,39	0,43	0,51	0,24	0,04	0,02

La estructura se malló con elementos tipo SOLID 185 de la biblioteca de Ansys (3), que son elementos tipo brick de 8 nodos con 3 grados de libertad por nodo. Se establecieron controles de mallado en las zonas que, primero presumiblemente y después se demostró, fueron las más críticas. Estas zonas fueron las juntas machihembradas entre las tablas horizontales. La Fig. 3 siguiente muestra el resultado de la malla:

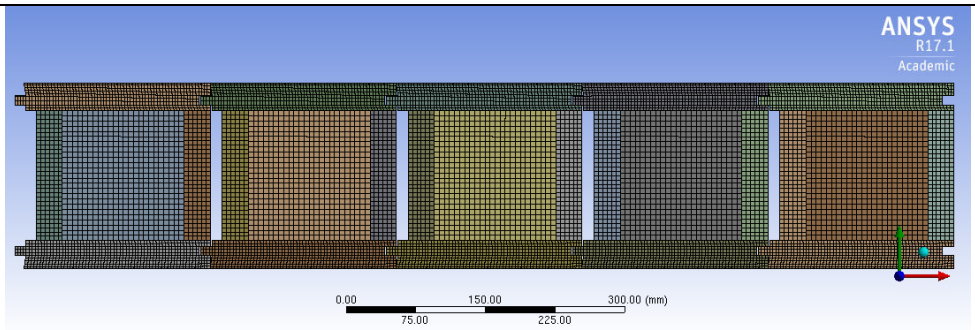


Figura 3. Mallado.

Los contactos entre las tablas que en la realidad están encoladas se definieron como *bonded* (3) y las que no lo están se definieron como *frictional* (3) con un coeficiente de fricción determinado experimentalmente (5) y de valor igual a 0,27.

Como condiciones de contorno se establecieron: una aceleración igual a la gravedad; una carga de uso de valor igual al indicado para uso residencial en el Código Técnico de

la Edificación, aplicado como presión en la cara superior de los cajos; y dos apoyos en los extremos longitudinales de las vigas, uno de tipo fijo y otro de deslizadera en el eje longitudinal, conformando por lo tanto un sistema estructural de vigas biapoyadas.
La simulación se lanzó en primer lugar con los elementos mallados con las propiedades de la picea, y se comprobó que el desplazamiento era similar al que refieren los productores europeos de vigas de este tipo para las mismas dimensiones (6), considerándose por lo tanto el modelo validado.
A continuación, se lanzó nuevamente la simulación, pero con las propiedades del eucalipto. Se comprobó que el desempeño estructural fue mejor, obteniéndose una menor deformación.
Posteriormente se realizó una optimización del modelo de eucalipto, buscando reducir el espesor de las tablas horizontales y verticales que conforman los cajones, pero sin empeorar el desempeño. Es decir, se reduce la cantidad de madera sin aumentar la deformación vertical que se obtenía con los cajones de pícea, que era de 13,04 mm.
Además, se empleó el criterio de rotura de Tsai-Wu para comprobar que la tensión alcanzada en los cajones fuese admisible (7).

Modelo térmico
Siguiendo la metodología descrita en (8), se elaboró un modelo transitorio térmico acoplado al estructural previamente desarrollado para simular el comportamiento en situación de incendio del sistema estructural de vigas cajón. La simulación se realizó tanto para pícea como para eucalipto. Las propiedades térmicas de *Picea abies* se tomaron de (9). Las de eucalipto se tomaron de (10) en un primer momento, pero el modelo resultante no fue satisfactorio, por lo que, a falta de datos mejores, se realizó un modelo tomando el calor específico y la conductividad térmica que el eurocódigo ofrece para conífera (9), y la densidad del eucalipto.

Modelo vibratorio
Se realizó un análisis modal de la frecuencia natural de vibración del sistema estructural de vigas cajón, tanto en pícea como en eucalipto. Para ello se realizó un primer modelo estructural aplicando únicamente las cargas permanentes que establece el Código Técnico de la Edificación, y posteriormente se acopló el modelo de este análisis a otro análisis de tipo modal.

Resultados

Con las dimensiones de partida (Fig. 1), el modelo elaborado con pícea arrojó una deformación de 13,04 mm. En eucalipto se pudieron reducir los espesores hasta los 10 x 8 mm y se obtuvo una deformación de 13,2 mm (ver Tabla 2)

Tabla 2. Optimización del espesor de las tablas que forman los cajones con madera de eucalipto

Espesor tablas horizontales (mm)	30	28	26	24	22	20	18	16	15	14	12	10
Espesor tablas verticales (mm)	28	26	24	22	20	18	16	14	15	12	10	8
Deformación vertical (mm)	6,9	7,1	7,3	7,6	7,9	8,3	8,8	9,4	9,5	10,3	11,4	13,2

En el análisis térmico, la velocidad de carbonización obtenida se redujo de los 0,72 mm/min obtenidos para picea a 0,52 mm/min para eucalipto (ver Fig. 4 y Fig. 5)

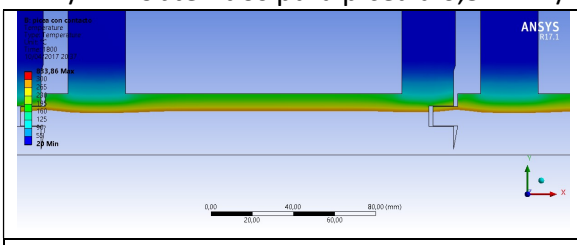


Figura 4. Carbonización pícea

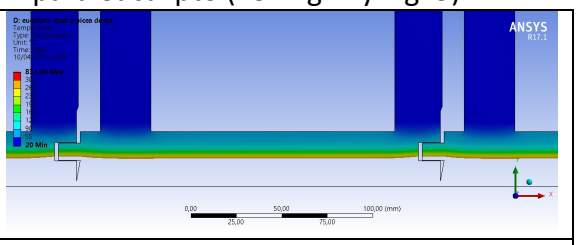


Figura 5. Carbonización eucalipto

En cuanto a la frecuencia de vibración natural, en el caso de la pícea el valor obtenido fue de 13,61 Hz, mientras que en el del eucalipto fue de 14,31 Hz.

Conclusiones

Es posible modelizar empleando Ansys el comportamiento estructural en situación ordinaria y de incendio de un sistema de forjado elaborado con vigas cajón de pícea y de eucalipto. El hecho de emplear madera de eucalipto en vez de madera de pícea permite reducir las dimensiones de los cajones sin merma en el desempeño estructural, reduciendo sustancialmente la cantidad de madera empleada

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Comisión Europea por el apoyo ofrecido en el marco del proyecto Fortissimo 2 (*Horizon 2020 contract 680481*).

Referencias

(1) J. Crespo, J. R. Aira, C. Vázquez, A. Majano-Majano, M. Guaita. Determination of the elastic constants in Eucalyptus globulus by ultrasound and mechanical tests. WCTE 2016 World Conference on Timber Engineering. August 22-25, 2016. Vienna, Austria.
(2) Argüelles Álvarez, R., Arriaga Martitegui, F. y Martínez Calleja, J. J. Estructuras de madera diseño y cálculo. Madrid. AITIM. 2000.
(3) http://www.ansys.com/
(4) https://www.gompute.com/
(5) Crespo, J., Regueira, R., Soilán, A., Díez, R., y Guaita, M. "Desarrollo de metodología para la determinación de los coeficientes de fricción estático y dinámico de diferentes especies de madera.," en 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção, 07-09 junio. Coimbra, Portugal. 2011.
(6) http://www.lignatur.ch/
(7) Tsai, S. W. y Wu, E. M. "A General Theory of Strength for Anisotropic Materials" Journal of Composite Materials, vol. 5, pp. 58-80. 1971.
(8) Regueira, R. Aplicación de métodos numéricos al análisis de estructuras de madera en situación de incendio. Tesis doctoral. Santiago de Compostela, 2013.
(9) UNE-EN 1995-1-2. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2. Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego. 2011.
(10) Molina, J. C., Carlito C. J., Numerical analysis of composite structure wood concrete in fire. WCTE 2012 World Conference on Timber Engineering. July 16-19, 2012. Auckland.

ENSAYOS A FLUENCIA DE VIGAS DÚO Y VIGAS DÚO REFORZADAS (GFRP) DE *Populus x euroamericana I-214*

Balmori, Jose-Antonio[a]; Morillas, Leandro[a]; López, Gamaliel[a], Acuña, Luis[a]; Casado, Milagros[a]; Basterra, Luis-Alfonso[a]
[a] Grupo de Investigación Reconocido en Estructuras y Tecnología de la Madera. Universidad de Valladolid (Spain)
E-mail ponente: gama@arq.uva.es

Palabras clave: Ensayos de fluencia; *Populus x euroamericana I-214*; viga dúo; viga dúo reforzada con GFRP.

Resumen

Este trabajo tiene por objetivo el estudio del comportamiento a fluencia de vigas dúo de madera de *Populus x euroamericana I-214* y vigas dúo de la misma madera, reforzadas internamente con una banda rígida de GFRP. Para ello, se realizaron ensayos no destructivos a flexión de vigas dúo reforzadas con GFRP y vigas dúo testigo (sin refuerzo) de 2,5 m de longitud, bajo la aplicación de una carga constante de larga duración (>6 meses) de 10 kN, según las normas UNE-EN 380 y UNE-EN 408. Durante toda la duración del ensayo se monitorizó la deformación de las vigas mediante la instrumentación simultánea de las piezas con extensómetros LVDT y bandas extensométricas. Los ensayos se realizaron en laboratorio bajo condiciones ambientales controladas y monitorizadas, con temperatura (20ºC) y humedad (65%HR) relativamente constantes, que se corresponden con un valor próximo al 12% de humedad en la madera; condiciones asimilables a Clase de servicio 1 (CTE). Bajo estas condiciones de ensayo se midieron y compararon los comportamientos a fluencia de las vigas dúos reforzadas y testigos; discutiéndose los efectos que provocan la incorporación de refuerzos GFRP.

Introducción

La madera presenta un comportamiento visco-elástico, adquiriendo deformaciones no recuperables al someterla a cargas de larga duración, pese a que su intensidad se mantenga constante e invariable. Este comportamiento, denominado fluencia o deformación reológica, es muy conocido (1) y ha sido ampliamente investigado (2) (3) (4). Para introducir este comportamiento en cálculo, las normativas actuales, como el Eurocódigo-5 ó el CTE-SE-M, aplican coeficientes de corrección sobre la resistencia característica de la madera, en función de la duración de la carga y de la clase de servicio. No obstante, el comportamiento de la madera en colaboración con refuerzos de materiales polímeros (FRP) está escasamente investigado. A partir de la década los ’90 del s. XX, los ensayos de fluencia se centraron sobre los nuevos materiales

industrializados de madera con el fin de conocer con precisión su comportamiento a largo plazo (5). Iniciandose en estas fechas las primeras investigaciones amplias sobre el comportamiento de madera estructural reforzado con FRP en laboratorio (6) y sobre estructuras civiles de madera (7). Debido a la variabilidad de condicionantes que intervienen en los comportamientos de fluencia, a la duración de este tipo de ensayos y a los nuevos refuerzos FRP disponibles en el mercado este tipo de ensayos continúan actualmente investigándose de modo activo (8).

El objetivo de este trabajo es conocer el comportamiento a largo plazo de vigas dúo de madera *Populus x euroamericana* I-214, reforzadas con GFRP, y su recuperación posterior ante el cese de la carga, comparándola con el comportamiento de las vigas dúo semejantes sin reforzar.

Material y métodos

Los ensayos se realizaron con vigas dúo de la especie *Populus x euroamericana I-214*, fabricadas en taller a partir de piezas de madera de calidad visual equivalente a ME-1 (UNE 56544:2011) utilizando para su encolado resina epoxi Sikadur-30. Se fabricó un lote de 10 vigas dúo de chopo sin refuerzo (testigos), y un segundo lote de 10 vigas dúo reforzadas con bandas rígidas de fibra de vidrio (GFRP) UNI-2400 gr/m^2, ambos lotes con una sección aproximada de 80x140 mm (Fig.1) y 2,5 m de longitud. Se seleccionaron para el ensayo de fluencia 2 vigas de cada lote, reservando el resto para posteriores ensayos.

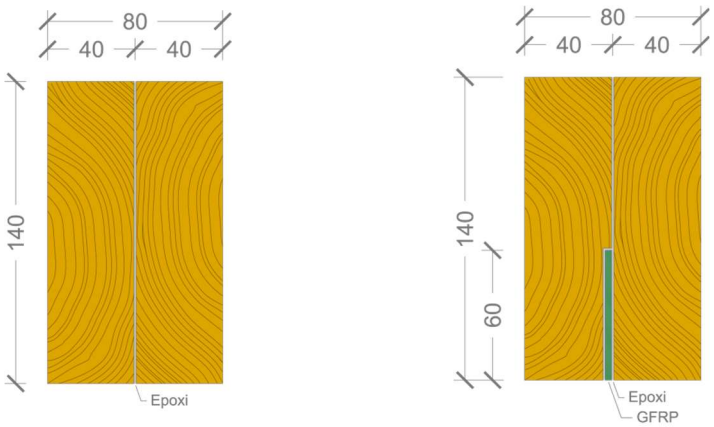


Figura 1. Sección de vigas dúo testigo (izq.) y vigas dúo reforzadas GFRP (dcha.).

Los ensayos fueron realizados bajo condiciones ambientales controladas y monitorizadas, con temperatura (20±2ºC) y humedad (65±5% HR) relativamente constantes, que se corresponden con un valor próximo al 12% de humedad de equilibrio en la madera (9). La monitorización de las condiciones ambientales del laboratorio se realizó con un termohigrómetro modelo TESTO 635. Al inicio de cada ensayo se determinaron las dimensiones exactas de las piezas, su temperatura y humedad (tabla 1); esta última por el método de la resistencia eléctrica (UNE-EN

13183-2:2002) utilizando un xilohigrómetro de resistencia, mod. PROTIMETER Surveymaster BLD5360, con una resolución de medida del 0,1%.

Tabla 1. Dimensiones, temperatura y contenido de humedad higroscópica de las piezas ensayadas.

Especie	Pieza	Dimensiones [mm]	Humedad [%]	Temperatura [°C]
Populus x euroamericana I-214	1 (testigo)	141x85x2500	10,4	20,4
	2 (testigo)	142x85x2500	10,7	20,4
	3 (reforz.)	142x81x2500	10,8	20,4
	4 (reforz.)	140x83x2500	10,4	20,4

El equipamiento utilizado para la monitorización de las deformaciones (Fig.2) se realizó con extensómetros inductivos (LVDT) modelo HBM WA_100, controlados por un sistema de adquisición de datos HBM-QuamtumX-MX840B. De modo complementario, se colocaron en la cara inferior del centro del vano (L/2) de las vigas bandas extensométricas, HBM LY41-10/120, de acero ferrítico con longitud de rejilla 10 mm y resistencia 120Ω. Las bandas se conectaron a un sistema de adquisición de datos HBM-CanHead-CB1010, con una configuración a cuarto de puente de Wheatstone con compensación (DMS1 + K) (10) de temperatura y humedad, mediante una banda extensométrica adicional adherida en un testigo de madera del mismo lote que la ensayada, pero sin cargar.



Figura 2. Instrumentación utilizada durante los ensayos.

La metodología seguida fue colocar las vigas dúo en parejas, dos vigas dúo sin reforzar como testigos y dos vigas dúo reforzadas, sobre dos bancas de acero previamente niveladas; aplicando la carga mediante el llenado de sendos depósitos con un volumen útil de 1000 litros (Fig.3). El apoyo de los depósitos sobre las vigas se realiza con una plataforma resistente intermedia, que permite aplicar la carga en las vigas sobre dos puntos con distancias de apoyo h/3 propuestas por la norma UNE-EN 408:2011. Esta carga aplicada de 10kN representa, de acuerdo a datos experimentales previos, en torno al 50% de la fuerza de rotura de las vigas sin refuerzo. La puesta en carga de las vigas se realizó en varias fases o escalones de carga (UNE-EN 380:1998) (Fig.4), con el

fin de registrar el comportamiento progresivo de la estructura, permitir su estabilización y comprobar el correcto reparto de cargas sobre cada pieza. Las vigas fueron monitorizadas sin interrupción durante toda la duración del ensayo (6 meses).



Figura 3. Puesta en carga.

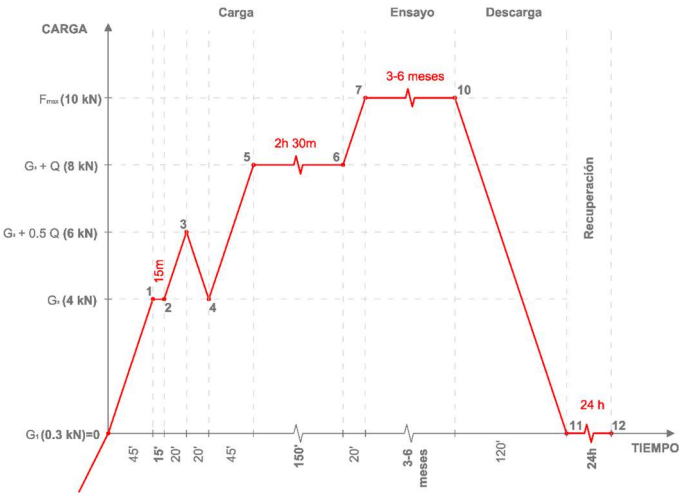


Figura 4. Gráfico con las fases y tiempos de carga.

Resultados y discusión

Los datos medidos con los LVDT permiten apreciar el aumento de deformación con el paso del tiempo sin incremento de carga (fluencia). Los porcentajes de variación registrados se sitúan en el 30,5% de incremento de la flecha para las piezas sin refuerzo; y en el 28,6% para las piezas reforzadas. La representación gráfica de los datos (Fig. 5) muestran unas curvas asintóticas, con las pendientes de las curvas de las piezas sin refuerzo y las piezas reforzadas sensiblemente paralelas y de crecimiento continuado, representando un comportamiento reológico semejante. En el momento de concluir el ensayo la fluencia de la madera se mantiene aún activa. Tras la retirada de la carga, y completado el tiempo de recuperación, el gráfico muestra la presencia de una deformación residual adquirida.

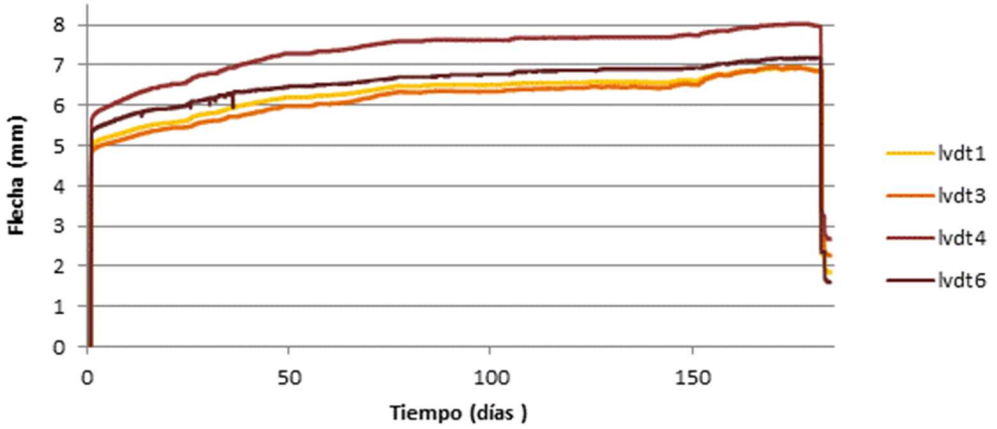


Figura 5. Gráfica flecha-tiempo de los LVDTs.

La representación gráfica de los valores de deformación obtenidos por las bandas extensométricas (Fig. 6) muestran comportamientos similares frente a la fluencia entre las diferentes vigas. El trazado irregular de la curva testifica la gran precisión de las bandas extensométricas y la influencia de los factores ambientales en la medida, pese a utilizarse bandas de compensación.

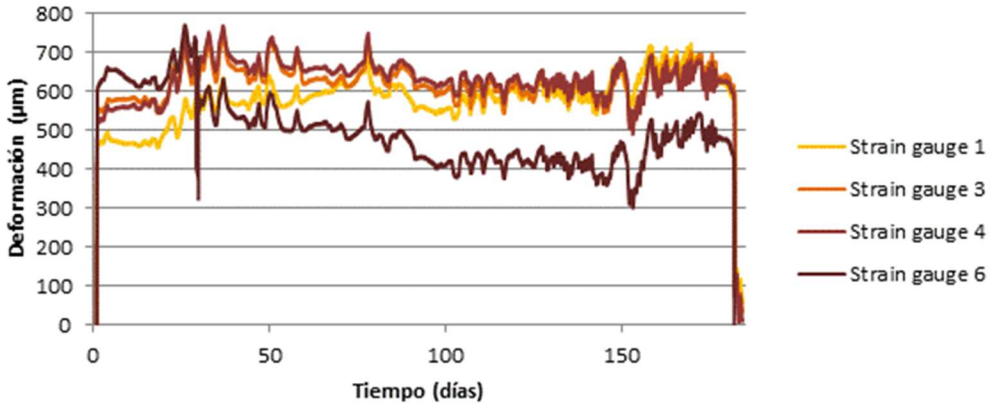


Figura 6. Gráfico deformación-tiempo de las bandas extensométricas.

Conclusiones

La primera conclusión es que, al menos con los bajos ratios de refuerzo utilizado (1,06% de la sección), el refuerzo GFRP empleado no produce mejoras sensibles ante los fenómenos de fluencia, siendo análogo el comportamiento a largo plazo de las piezas sin refuerzo y reforzadas.

La segunda es que los refuerzos GFRP reducen la flecha total registrada y producen, además, cierta mejora en la recuperación parcial de la deformación tras la descarga de las piezas. Los porcentajes de recuperación media en la flecha residual, tras el vaciado de las cargas, es del 2,9% en las vigas testigo frente al 4,3% en las vigas reforzadas.

Agradecimientos

Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España; subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada, 2013-2015 (BIA 2012-31233). Los autores también quieren agradecer la colaboración de la empresa SIKA y de la Fundación Santa María la Real del Patrimonio Histórico.

Referencias

(1) Thelandersson, S., Larsen H.J., *Timber Engineering*. Wiley. London. **2003**, 133-167.
(2) Morlier, P., *Creep in timber Structures*. RILEM, London. **1994**.
(3) Wood, L.W., Relation of strength of wood to duration of load. *U.S. Forest products laboratory.* Report Nº1916. **1951**.
(4) Madsen, B., Duration of load test for dry lumber in bending. *Forest products Journal*. **1973**, 23(2), 21-28.

(5) Ranta-Maunus, Alpo, Collection of creep data of timber. *Proceedings of the International Council for Building Research Studies and Documentation.* Working Commission W 18A - Timber Structures CIB-W18A/24-9-2. Oxford, United Kingdom. **1991**.
(6) Plevris, N., Triantafillou, T. C., Creep behavior of FRP-reinforced wood members. *Journal of Structural Engineering.* **1995**, 121(2), 174-186.
(7) Tingley, D. A., Gilham, P. C., Kent, S. M., Long term load performance of FRP reinforced glulam bridge girders. *In National conference on wood transportation structures*. **1996**.
(8) Yahyaei-Moayyed, M.; Taheri, F., Experimental and computational investigations into creep response of AFRP reinforced timber beams. *Composite Structures.* **2011**, 93, 616-628.
(9) Kollman, F., *Tecnología de la madera y sus aplicaciones (tomo 1)*. 2ª Edición. IFIE, Madrid. **1959**.
(10) Hoffmann, K., An Introduction to Stress Analysis and Transducer Design using Strain Gauges. HBM, Darmstadt. **2012**.

Comportamiento de la madera al exterior fuera del contacto con el suelo: resultados preliminares del proyecto BIA 2013-42434R

Fernández-Golfin Seco, J.I.[1], Conde García, M.[1], Diez Barra, MR.[1], Conde García, M.[2], Acuña Rello, L.[3], Torres Álvarez, E.[4], Perea Alonso, E.[5], Troya, M.T.[1]
[1]INIA-CIFOR; Ctra. de la Coruña km 7,5 28040 Madrid, Spain, golfin@inia.es
[2]Universidad de Córdoba; Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes Campus de Rabanales, Ctra. N. IV, km 396, 14080 Córdoba, Spain
[3]Universidad de Valladolid (Campus Palencia); E.T.S. de Ingenierías Agrarias Av. de Madrid, 57, 34004 Palencia, Spain
[4]Universidad de Huelva; Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Palos de la Frontera, Huelva, Spain
[5] Privado

Palabras clave: Durabilidad, durabilidad paramétrica, clima de la madera

Resumen
En el seno del Proyecto BIA 2013-42434R titulado "*Evaluación del comportamiento funcional de la madera al exterior fuera del contacto con el suelo*" se han ubicado siete dispositivos experimentales conteniendo siete piezas de madera de 750x100x20 mm^3 de siete tipos distintos (Pinos silvestre, radiata, Laricio; castaño europeo, eucalipto picea y pino radiata termotratado) ubicados en siete localidades distintas (Asturias, Palencia, Valencia, Madrid, Cordoba, Huelva y Vitoria). En la localidad de Madrid se dispuso una octava pieza de pino silvestre de sección 750x150x150 mm^3 para analizar el efecto de la masividad. En cada pieza de madera de cada dispositivo experimental se ha medido su temperatura y su contenido de humedad cada dos horas.
En el trabajo se analiza el comportamiento de las diferentes especies durante sus dos primeros años de exposición, extrayéndose conclusiones provisionales respecto de su diferente velocidad de sorción y la mejor forma de llevar a cabo los procesos de caracterización de la madera para su uso exterior.

1. Introducción

INIA está actualmente coordinando la ejecución del proyecto BIA2013-42434-R "*Evaluación del comportamiento funcional de la madera maciza en condiciones de uso exterior sin contacto con el suelo*", en el que intervienen no sólo los Laboratorios de Maderas del Centro de Investigación Forestal del INIA sino, también, AITIM, la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Europea, la Universidad de Córdoba y el Instituto Eduardo Torroja (CSCIC) junto con algunos profesionales de la construcción de alto prestigio, como es el Dr. Enrique Nuere. Colaboran también otros centros nacionales como CIS-Madeira, la Universidad de Huelva o NEIKER en Vitoria.

El objetivo principal del proyecto es el de obtener los datos nacionales (estrechamente relacionados con nuestras condiciones climáticas específicas, con nuestras especies de madera y con la distribución e intensidad de los agentes bióticos a nivel nacional) como parte de un proceso europeo de normalización que en el plazo de 3 a 4 años ha de permitir a los diseñadores, productores y usuarios no solo optimizar sus diseños

desde un punto de vista medioambiental sino, también, determinar el mejor tratamiento, la mejor especie o el tipo de producto más adecuado para asegurar la vida en servicio prevista en proyecto.

El proceso normalizador europeo tiene como objetivo establecer un sistema paramétrico similar al empleado en el cálculo estructural para determinar el momento de violación del estado límite de servicio del material, que en este caso sería el de durabilidad y que vendría definido como el momento en el que hace acto de presencia signos de pudrición en el material (Fernández-Golfín y Troya, 2014).

Con este sistema paramétrico entre las acciones con efecto en la degradación biológica del material (parte izquierda de la desigualdad) se habrían de tener en cuenta aspectos tales como el macroclima del lugar (índice de exposición, que en el caso nacional basamos en el valor del índice de Scheffer calculado mediante los datos climáticos de la localidad (Fernández-Golfín *et al.* 2016), la existencia de aspectos de agravamiento del efecto del clima (factor de severidad climática), las dimensiones del material, la existencia de aleros y cornisas, la separación respecto del suelo o ciertos aspectos referidos al diseño. Análogamente en el lado derecho de la desigualdad, el referido a la resistencia biológica intrínseca del material, se tendrían en cuenta la durabilidad del material evaluada de acuerdo con los criterios de la norma EN 350 así como todos los aspectos del material que pudieran influir en que la durabilidad fuera mayor o menor que la normalizada, como puede ser los tratamientos efectuados.

A nivel nacional el desarrollo de un método (expresiones de cálculo o mapas basados en GIS) que permita la fácil determinación del valor del índice de exposición básica en cada lugar de la geografía nacional, junto con la determinación de los factores de modificación del riesgo antes citados tiene un gran interés para la aplicación práctica de los contenidos prestacionales del Código Técnico de la Edificación y en especial para la determinación de las "Clases de uso" de la norma europea UNE-EN 335, lo que ha de redundar en el mayor empleo de la madera como material de construcción.

2. Metodología

Siete mesas metálicas conteniendo cada una de ellas siete tablas de 20x100x750 mm^3 pertenecientes a siete tipos distintos de maderas (pino silvestre, radiata y laricio; castaño europeo, eucalipto, picea y pino radiata termotratado) fueron expuestas a condiciones de exterior sin protección contra la lluvia en siete localidades distintas (Asturias-Llames, Palencia, Valencia, Madrid, Cordoba, Huelva y Vitoria). Estas localizaciones fueron elegidas para representar de forma adecuada el efecto de los climas de mayor importancia en España: Continental (Madrid, Palencia, Vitoria y Cordoba), Costero- Atlántico norte (Asturias-Llames), Costero Atlántico-sur (Huelva) y mediterráneo (Valencia). Entre las localizaciones de clima continental se consideraron cuatro en función de su mayor o menor intensidad (Madrid, Palencia, Vitoria y Cordoba), considerando el efecto de la presencia cercana de grandes fuentes de humedad (Vitoria), el efecto de veranos extremos (Cordoba) o de inviernos fríos (Palencia).

En el dispositivo experimental situado en Madrid se incluyó una octava pieza de madera de pino silvestre y escuadrías de (150x150x750 mm^3) para analizar el efecto de la masividad en el comportamiento del material.

La humedad y temperatura de todas las piezas de los siete dispositivos experimentales fueron monitorizadas cada dos horas haciendo uso de un xilohigrómetros multicanal y un datalogger (Thermofox+Gigamodule) de la marca Scanntronik.

Todas las piezas monitorizadas fueron seleccionadas de aserrado tangencial y dispuestas "médula arriba" para evitar el efecto colateral producido por un fendado excesivo. Para analizar la situación de máximo riesgo de degradación, todas las piezas fueron dispuestas horizontalmente, tal y como se puede apreciar en la figura 1(a).

Como sensores de humedad de madera se emplearon tornillos de acero inoxidable introducidos desde la cara inferior hasta el centro de las piezas (10 mm) si bien recubiertos en sus 7 primeros mm de teflón para evitar la medida de la humedad superficial. Para la determinación de la temperatura de madera se empleó un sensor térmico tipo RTD insertado en una de las piezas de madera de cada dispositivo.

Esta metodología experimental fue adoptada por ser la recomendada en la Acción COST FP 1303 (Brischke *et al*. 2014), en cuyo seno se está llevando a cabo un trabajo a nivel europeo sobre la base de la misma técnica de exposición y medida.

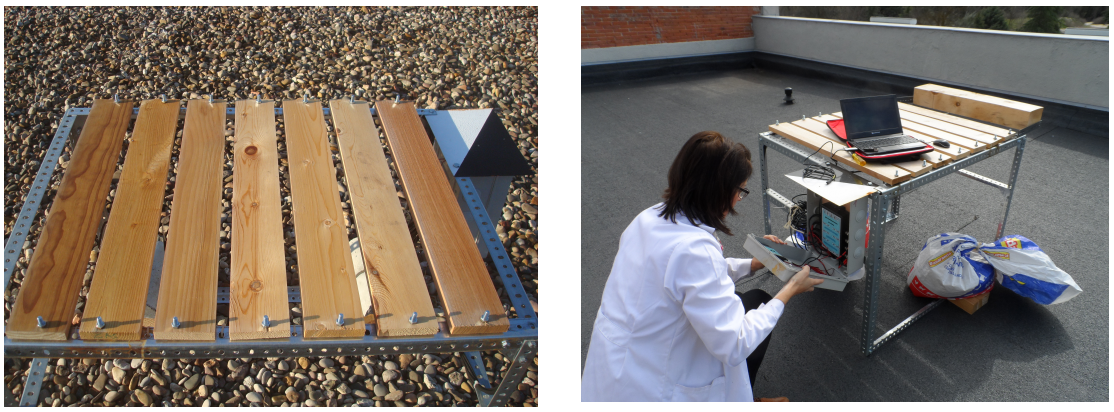


Figure 1. Dispositivo experimental

Para convertir las lecturas de resistencia eléctrica (R), aportadas por los equipos de medida en valores de contenido de humedad de madera (MC), se emplearon modelos matemáticos que relacionan ambas variables entre sí con el concurso de la temperatura. Para los pinos laricio, silvestre y radiata así como para el castaño europeo, el pino radiata termotratado y el eucalipto los modelos empleados en el presente trabajo fueron obtenidos en trabajos anteriores (Fernandez-Golfín, J. *et al*, 2012, 2014) aunque recalculados para ajustarlos al formato exigido por el Gigamodule, mientras que los correspondientes a la picea y el pino pinaster se emplearon los publicados por Forsen y Tarvainen (2010), aunque recalculados por este equipo

investigador para adaptarlos al formato exigido. De acuerdo con esto los modelos finalmente empleados fueron los siguientes:

- Eucalipto: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,202)/(-0,054) (R^2= 99,7%)
- Pino Laricio: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,069)/(-0,0372) (R^2= 99,7%)
- Picea: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,014)/(-0,034) (R^2= 92,2)
- Pino silvestre: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,101)/(-0,039) (R^2= 99,3%)
- Pino radiata: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,119)/(-0,041) (R^2= 99,4%)
- Castaño europeo: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,032)/(-0,041) (R^2= 99,3%)
- Pino radiata termotratado: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,089)/(-0,046) (R^2= 99,7%)
- Pino pinaster: MC= (LOG10(LOG10(R)+1)-1,085)/(-0,040) (R^2= 99,5%)

La medida de la humedad aportada por los modelos anteriormente mencionados ha de ser corregida por efecto de la temperatura de la madera en el momento de la medida, para lo cual fue empleado un modelo propio introducido junto con los modelos anteriores en el software Softfox 3.02 (de Scanntronik) de extracción y análisis de datos.

3. Resultados y conclusiones

Aun cuando no se ha finalizado completamente la campaña de medidas, prevista para tres años de duración, de los datos obtenidos durante los dos primeros años de exposición y especialmente de la comparación entre los datos obtenidos en las diferentes estaciones es posible extraer las conclusiones provisionales que seguidamente se detallan.

1. En lo que respecta al "*tiempo de mojado*" (tiempo durante el cual el contenido de humedad de la madera supera un determinado valor umbral) y a igualdad de especie existe una notable diferencia de comportamiento entre las maderas ubicadas en las estaciones de Llames (Asturias) y Vitoria respecto de las ubicadas en el resto de estaciones peninsulares, debido a sus diferentes regímenes pluviométricos y/o de condensaciones (Vitoria sobre todo). En general las estaciones ubicadas en localidades con clima continental (Palencia, Madrid, Córdoba) presentan comportamientos similares, existiendo ligeras diferencias entre ellas en función de su distinto régimen pluviométrico.
2. El "*tiempo de mojado*" europeo (TOW25) (MC>25%) es muy reducido en todas las estaciones analizadas. Siguiendo este criterio europeo de riesgo de pudrición (TOW25), en las estaciones analizadas nunca se pudriría la madera, extremo éste que a todas luces no es cierto. Por ello es necesario afirmar que los modelos predictivos europeos fallan con nuestro clima y condiciones, debido quizá a la presencia de diferentes agentes degradadores (hongos) o a su diferente actividad o sinergias. En la actualidad se trabaja de forma más conservadora considerando un umbral del 18% para definir el *tiempo de mojado* (TOW18) y analizando su relación con la pudrición observada (de momento nula).
3. Los datos demuestran que lo que más diferencia el comportamiento de las maderas expuestas al exterior es la presencia de lluvia, no la humedad relativa. La humedad ambiental por sí sola no pone en riesgo a la madera (no permite un contenido de humedad superior al 18%). Por tanto, el factor primordial de la degradación de la

madera al exterior debe entenderse que es la presencia de agua líquida procedente de la lluvia o de las condensaciones superficiales.

4. La presencia de fendas en la superficie de la madera cambia totalmente el comportamiento de las coníferas al exterior, incrementando la velocidad de sorción (ya que aumenta el tiempo y la superficie de mojado) e igualándola en cierta medida entre sí. Por tanto, a nuestro criterio para analizar el efecto de la especie en el riesgo de pudrición de la madera de nada sirve la caracterización higroscópica en cámara y ni siquiera la caracterización por inmersión, sino que es necesario inducir fendas y analizar la cinética de la sorción/desorción de la madera ya fendada, lo que lleva a incorporar tanto el agua líquida como el efecto de las fendas en el análisis. Ej. El pino laricio se comporta muy bien a corto plazo hasta que aparecen las primeras fendas, momento a partir del cual se transforma en una madera mucho más reactiva a los eventos de lluvia.
5. La presencia de fendas reduce el efecto ralentizador inicial de la masividad del elemento, de forma que la reactividad a los eventos de lluvia en cierta medida se iguala.
6. Como norma general la reactividad ante los eventos de lluvia de las diferentes especies (sin presencia de fendas) es como sigue: Pino radiata termotratado<Castaño<Picea<Pino Laricio<Pino silvestre≈ Pino radiata.
7. La madera termotratada se fenda mucho en la zona interior, poniendo de manifiesto su inadecuación a los climas continentales.

Referencias

Brischke, C., Umar, M, Meyer, L, Bardage, S, Bulcke, J Van den (2014). Cost Action FP 1303. *Cooperative Performance Test. Instructions for participants*. (http://www.costfp1303.com/en/news/Documents/Table_Info.pdf, último acceso noviembre 2016).

Fernández-Golfín JI, Troya Franco, M.T. (2014) *Hacia un nuevo paradigma del concepto de durabilidad de la madera y productos derivados*. Boletín AITIM. (289):40-43.

Fernandez-Golfin, J.I.; Conde Garcia, M.; Conde Garcia, M.; Fernandez-Golfin, J.J.; Calvo Haro, R.; Baonza Merino, M.V. de Palacios, P. (2012). *Curves for the estimation of the moisture content of ten hardwoods by means of electrical resistance measurements*. Forest Systems (2012) 21(1):121-127.

Fernández-Golfín, J.I., Conde García, M.; Fernández-Golfín, J.J.; Conde García, M., Hermoso, E.; Cabrero, J.C. (2014). *Efecto de la temperatura de termotratamiento en el comportamiento eléctrico de la madera de pino radiata*. Maderas Ciencia y Tecnología (2014) 16(1): 25-36.

Fernandez-Golfin, J.I.; Larrumbide, E.; Ruano, A.; Galvan, J.; Conde, M (2016). *Wood decay hazard in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement*. Eur. J. Wood Prod. (2016). 74 (4): 591-599.

Forsén, H., Tarvainen, V. (2000) *Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters*. VTT publications num 420. 95 pp. ISBN 951-38-5581-3.

Nueva tecnología de construcción mixta ligera acero-madera para edificios sismo-resistentes

Edgar Segués[a], Inmaculada R. Cantalapiedra[b], Francisco López Almansa[a]
[a]Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona;
[b]Departamento de Física, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona
edgar.segues@upc.edu

Palabras clave: Edificios de Entramado ligero de madera ("*Timber platform frame buildings*"), resistencia sísmica, construcción mixta acero-madera.

Resumen

Este trabajo describe una nueva técnica de construcción mixta de madera y acero. Esta solución constructiva está destinada principalmente a proporcionar alta resistencia lateral y rigidez, cualidades útiles para resistir fuerzas de origen eólico y sísmico; consiste en la combinación en paralelo de un entramado ligero de madera ("*timber platform frame*") y un sistema de arriostramiento autoportante de acero. Las responsabilidades estructurales de cada sistema están bien separadas: la madera resiste las cargas gravitacionales y el acero los empujes laterales generados por el viento o por la acción sísmica. Es destacable que, contrariamente a lo que sucede en sistemas clásicos de arriostramiento, esta separación es prácticamente completa: las cargas verticales no afectan en absoluto al sistema de arriostramiento de acero (excepto su peso propio, obviamente) y los empujes laterales sólo generan tensiones en las zonas de la estructura de madera más próximas a las conexiones con el acero. En otras palabras, los elementos de madera se pueden dimensionar independientemente del viento y de las acciones sísmicas. Dado que los edificios de entramados ligeros de madera son bastante débiles en dirección horizontal, parece haber un límite alrededor de las seis plantas de altura; el objetivo principal de este trabajo es mostrar que esta limitación puede ser fácilmente superada utilizando la tecnología propuesta. En consecuencia, se proyecta un sistema de arriostramiento lateral para un edificio de seis pisos situado en una zona de alta sismicidad. Los resultados muestran que la incorporación de elementos de acero más bien ligeros puede proporcionar la capacidad lateral requerida.

Introducción

Actualmente la construcción de edificios de madera está en aumento debido a los criterios medioambientales y de sostenibilidad cada vez más aplicados por las normativas de los diferentes países para dar respuesta a los objetivos de reducción de emisiones de CO_2.

Los países nórdicos fueron de los primeros en reducir las restricciones de altura que las normativas aplicaban a los edificios con estructuras de madera (1). Dichas restricciones daban respuesta a la seguridad en caso de incendio y las nuevas normas han ido rebajando las limitaciones de altura y sustituyéndolas por la aplicación de otras medidas de seguridad frente al fuego, lo que ha permitido que se proyecten edificios de madera de mayor altura. Los cambios normativos y, por ejemplo, retos como la construcción de un rascacielos en madera en Canadá (2) han provocado de nuevo el interés por el análisis de la respuesta de este tipo de edificios frente a cargas laterales como el viento y el sismo.

Respuesta frente a acciones horizontales de los edificios de entramado ligero de madera

Por regla general, los edificios de entramado ligero de madera son una buena opción para construir en zonas de alta sismicidad debido a la ligereza que aporta la madera como material de construcción. Las estructuras de madera pesan aproximadamente 3 veces menos que las de acero o las de hormigón armado, por lo que en caso de sismo las fuerzas generadas también son menores. Además, la madera tiene otras propiedades que influyen en la buena respuesta de estos edificios ante terremotos, tales como su notable flexibilidad y su alto amortiguamiento. No obstante, la ductilidad de la madera es más bien limitada y ello resulta un factor clave en la respuesta ante acciones cíclicas como las generadas por el sismo y el viento; en este aspecto las estructuras de madera presentan algunas limitaciones.

La estabilidad frente a cargas laterales de los entramados ligeros de madera se debe a al efecto pantalla de sus muros (3). Éstos se conforman por la unión mediante clavos del entramado a un tablero de madera. El tablero aporta rigidez en sentido lateral y los clavos proporcionan ductilidad, debido a la alta capacidad de deformación del acero. Además, dichos muros también requieren herrajes de anclaje en la base y de unión entre plantas para garantizar una correcta trasmisión de los esfuerzos ante empujes laterales.

Otro factor clave es la capacidad de disipación de energía. Un terremoto se puede interpretar como un movimiento impuesto al edificio que le transmite una determinada cantidad de energía. Si el edificio puede disipar o absorber dicha energía minimizando los daños y evitando que éstos se produzcan en elementos clave de la estructura, ello garantizará la seguridad de sus ocupantes. En consecuencia, la disipación de energía de las conexiones es crucial. Las uniones tipo clavija (clavos, pernos, etc.) presentan algunos inconvenientes en este sentido. Concretamente, ante una solicitación cíclica de la conexión se produce el efecto pinzamiento (“pinching”), consistente en un incremento del deslizamiento sin aumento de la fuerza. Numerosas investigaciones analizan dicho problema intentando evitar este efecto y mejorar así la capacidad de disipación de energía (4) (5) (6).

Otra solución para mejorar la respuesta frente al sismo de este tipo de edificios son los disipadores de energía, dispositivos anexos a la estructura que actúan a modo de fusible estructural en caso de sismo. Se intenta concentrar el daño en estos elementos durante

un sismo incrementando así la capacidad de disipación de energía de la estructura; estos elementos pueden ser fácilmente sustituidos una vez pasado el sismo (7). Cuando éstos son usados en una estructura de madera deben ir unidos a la misma, y esa unión acaba siendo un punto crítico debido a la concentración de tensiones y a la limitación de resistencia por aplastamiento o rasgado de la madera. Por dicho motivo muchos trabajos apuntan a aumentar la superficie de contacto entre acero y madera o bien a colocar un gran número de disipadores en el edificio (8).

Otra limitación de los entramados ligeros son las dimensiones de las oberturas, problemática que se agrava en la parte inferior de los edificios donde se requiere de grandes aperturas, ya sea por la existencia de un garaje o bien de un local comercial, lo que acaba generando que en caso de sismo se produzcan los efectos de asimetría en planta y planta baja débil ("Soft first story") (9).

Nueva tecnología propuesta

Se propone un nuevo sistema constructivo mixto madera – acero (Fig. 1). Éste consiste en la unión de una estructura de entramado ligero de madera con un arriostramiento triangulado autoportante de acero de manera que el entramado se diseña para soportar cargas verticales y la estructura de acero para resistir empujes horizontales.

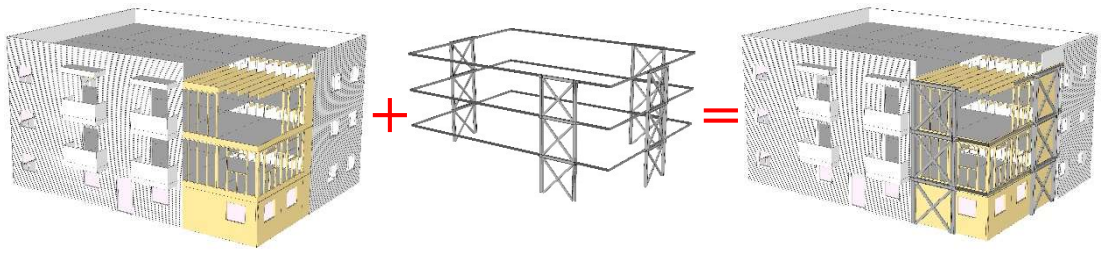


Figura 1. Sistema estructural propuesto MADERA-ACERO

La innovación de dicho sistema consiste en que la unión entre los dos elementos se realiza a través de una especie de cinturones metálicos en los forjados; estos elementos están encargados de transmitir las cargas laterales entre los dos elementos (Fig. 2). Dicho sistema es bastante óptimo, puesto que en caso de sismo las fuerzas horizontales se originan en los forjados y los cinturones permiten aumentar la superficie de contacto entre acero y madera evitando así el aplastamiento de la misma y sacando provecho del efecto diafragma rígido.

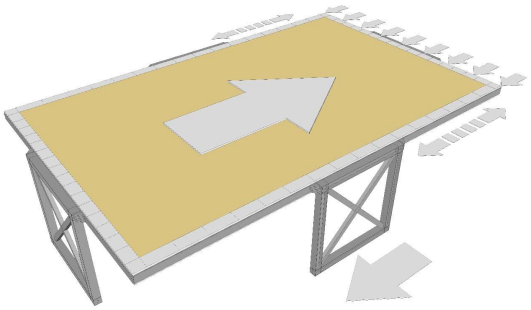


Figura 2. Conexión entre forjados y arriostramiento

Ejemplo de aplicación

Se ha aplicado la tecnología propuesta a un edificio de 6 plantas de entramado ligero proyectado para ser construido en una zona de alta sismicidad (10). El edificio original tiene una planta de superficie aproximada 21 x 31 m^2 y una altura de 18 m. Los tableros de los muros de diafragma que dan rigidez en dirección horizontal son de contrachapado de 19 mm de espesor en las 2 plantas inferiores, 15 mm en las dos plantas intermedias y de 12 mm en las dos plantas superiores.

El peso total del edificio es de 11.000 kN, la aceleración sísmica es 0,5 g, el factor de importancia es 1, el coeficiente de suelo es *S* = 2, el período fundamental es 0,6 s y el factor de ductilidad considerado es *R* = 4 (conocido como *q* en la normativa europea). El cortante basal obtenido mediante aplicación del método de fuerzas laterales equivalentes es 1.650 kN para cada dirección del edificio.

La estructura metálica que se propone a modo de arriostramiento en sentido horizontal consiste en 4 pórticos triangulados (tipo cercha vertical) situados en cada una de las fachadas. La distancia entre pilares es de 4 m y la altura de cada planta es de 3 m (Fig. 3); la distribución vertical de las cargas consideradas se muestra en la Tabla 1 (Fig. 3).

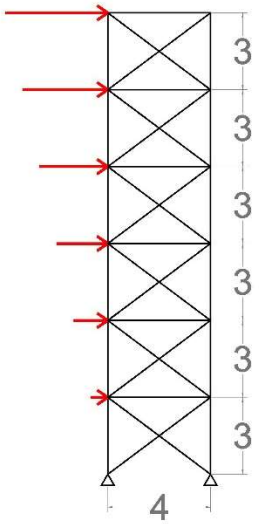


Figura 3. Esquema de un arriostramiento

Tabla 1. Distribución vertical de cargas de un arriostramiento.

Planta	1	2	3	4	5	6
Carga [KN]	39,29	78,57	117,86	157,14	196,43	235,71

Siguiendo las indicaciones del artículo 6.7.3 del Eurocódigo 8, para la realización del análisis estructural se ha ignorado la contribución de las barras diagonales comprimidas. Acorde a la Instrucción de Acero Estructural EAE, se ha dimensionado la estructura para que todas las secciones sean de Clase 1 (PLÁSTICAS). Se ha usado acero S 355 y secciones tubulares cuadradas. Las dimensiones obtenidas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de las secciones propuestas.

Planta	**Sección Barras Verticales y Horizontales [largo.ancho.espesor mm]**	**Sección Barras Diagonales [largo.ancho.espesor mm]**
6	80.80.8	50.50.5
5	100.100.10	80.80.6
4	100.100.10	80.80.8
3	150.150.12,5	100.100.8
2	180.180.12,5	100.100.10
1	220.220.12,5	100.100.10

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican la viabilidad de la solución propuesta y permiten pensar en posibles aplicaciones tanto en nueva edificación como en edificación existente. Considerado el volumen del edificio y la hipótesis de alta sismicidad usada en el análisis, se puede afirmar que se obtienen unas secciones de proporciones razonables, incluso reducidas para un edificio de 6 plantas, lo que permite que la parte de acero del sistema también sea ligera. El aumento de la resistencia del acero de S 275 a S 355 permite seguir obteniendo secciones de Clase 1. Minimizar el momento de inercia de las secciones en el plano del pórtico permite optimizar la estructura reduciendo la tensión de las barras. El uso de uniones articuladas optimiza la estructura metálica pero constructivamente resulta muy complicado. No obstante, las tensiones que se derivan con articulaciones rígidas pueden ser soportadas por la estructura. El coeficiente de esbeltez obtenido en la comprobación a pandeo de los elementos más esbeltos es $\chi = 0{,}33$.

En resumen, los resultados obtenidos son motivantes para profundizar en la idea propuesta y afrontar los retos futuros solucionando las limitaciones detectadas y perfeccionando la propuesta.

Referencias

(1) Shmuelli, & Kagami. Progress of timber multi-storey apartment building in Europe and japan. *Structural Bulding Components Association SBCA*. **2009**.

(2) Green MC; Karsh JE. The Case for Tall Wood Buildings. How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures. *Canadian Wood Council*. **2012**

(3) Hoekstra T. Multi-storey timber frame building – Modelling the racking stiffness of timber-frame shear-walls. *MSc Thesis. TU Delft*. **2012**

(4) Leijten AJM; Ruxton S; Prion H; Lam F. Reversed-cyclic behavior of a novel heavy timber tube connection. *Journal of Structural Engineering*. **2006**, *132:1314-1319.*

(5) Awaludin, A.; Hayashikawa; T. Oikawa; A.; Hirai, T.; Sasaki, Y.;. Leijten; A.J.M.; Seismic Properties of Moment-resisting Timber Joints with a Combination of Bolts and Nails. *Civil Engineering Dimension*. **2011** Vol. 13, No. 1, *1410-9530*

(6) Yoshikazu Araki; Toshiki Endo; Manami Iwata. *The Japan Wood Research Society* **2011**

(7) Francisco López-Almansa; Edgar Segués; Inmaculada R. Cantalapiedra. A new steel framing system for seismic protection of timber platform frame buildings. Implementation with hysteretic energy dissipators. *Earthquake Engineering Structural Dynamics.* **2014**

(8) Kawai N; Araki Y; Koshihara M; Isoda H. Seismic dampers for rehabilitating vulnerable Japanese wood houses. *9th World Conference on Timber Engineering (WCTE).* **2006**

(9) A. Iqbal. Seismic Retrofit solutions for light timber frame buildings with soft first story. *Proceedings of the NZSEE Conference* **2013**

(10) Milburn J; Banks W. Six-Level Timber Apartment Building in a High Seismic Zone. *New Zealand Timber Design Journal.* **2004**.

Análisis diferencial de propiedades de hinchamiento y dureza del *Eucalyptus globulus* segmentado por color y termo-tratado a diferentes temperaturas

Carolina Griebeler[a], Carmen Iglesias[a], Sergio Ruiz[b]
[a]Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Técnica Superior de Ingeniaría Agraria, Universidad de Lleida.
[b]Universidad Autónoma de Barcelona.
cg6@alumnes.udl.cat

Palabras clave: colorimetría, dureza Brinell, eucalipto blanco, hinchamiento, tratamiento térmico

Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar las diferencias en las propiedades de hinchamiento y dureza de múltiples muestras de madera de *Eucalyptus globulus* procedente de Galicia que han sido clasificadas en dos grupos de acuerdo a la predominancia de elementos amarillentos o rosáceos en la composición del color de la superficie. El estudio incluye el análisis diferencial y cruzado de tales grupos antes y después de la aplicación de cinco temperaturas de tratamiento térmico distintas: 140, 160, 180, 200 y 220 °C. Con la ayuda de métodos avanzados de colorimetría ambos grupos de muestras se han caracterizado de forma cuantitativa, observándose que hay claras diferencias en sus propiedades. Asimismo, se ha podido comprobar que el comportamiento de las propiedades evaluadas es marcadamente distinto en sendos grupos al ser sometidos a los diferentes tratamientos térmicos.

Introducción

El eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) es la especie más plantada en España con un área aproximada de 700 000 ha (Prieto y Touza 2009) y representa un 39 % del volumen de cortas anuales de madera en m³ (AEIM 2014). Sus principales aplicaciones son el suministro de madera con fines energéticos y de fibra para la industria de la celulosa, siendo aún poco explorada como madera sólida para fines nobles, a pesar de su elevada densidad y dureza (Bermúdez et al. 2002) que la podrían hacer útil para otros usos, por ejemplo, en el mercado del parquet.
Desde el punto de vista técnico, la madera utilizada en la producción de parquet requiere un mínimo de dureza, cierto grado de homogeneidad de color y estabilidad dimensional (Sepliarsky 2006). La modificación térmica es un proceso que puede aumentar la estabilidad dimensional y la durabilidad del *Eucalyptus globulus*, y por tanto aumentar su valor de mercado. Además, es posible cambiar el color natural de la madera logrando un aspecto más atractivo al material con el objetivo de aumentar su valor de mercado en la fabricación de productos de madera sólida. La oportunidad de mejorar

esas características mediante tratamientos térmicos, junto al hecho de que es una de las maderas más baratas del mercado, hace que esta especie pueda ser altamente competitiva en algunos mercados frente a otras maderas tradicionales y de alto valor económico (Esteves et al. 2007).

Sin embargo, la madera de eucalipto en su estado natural presenta una gran variabilidad en todas sus características, técnicas y estéticas, que sigue persistiendo notablemente entre las diferentes muestras después de la aplicación de tratamientos térmicos (González y Touza 2009). Se puede explicar la alta variabilidad encontrada en la industria por el hecho de que la madera de árboles jóvenes (calidad inferior) y la madera de árboles mayores (mejor calidad) suelen ser tratadas conjuntamente en los mismos procesos, sin clasificaciones. En este artículo presentamos dos grupos de *Eucalyptus globulus* pre-segmentados por colores y observaremos si hay una correlación entre el distinto color superficial con respecto a las propiedades de hinchamiento y dureza, y sus respectivas respuestas a las diferentes temperaturas de tratamiento térmico.

Material y métodos

1. Material

Para esta investigación se adquirieron tableros de eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) de 600 x 100 x 30 mm³ a un 10-12%, de un aserradero de Galicia. Los tableros se han obtenido exclusivamente del duramen, desde árboles de 25 a 35 años de edad.

2. Segmentación

La madera fue segmentada mediante la observación visual del color superficial siguiendo la metodología presentada en Griebeler et al (2017), donde se hallaron dos grupos con predominancia de tonalidades rosáceas (*grupo rosáceo*) en uno de los grupos y amarillas en el otro (*grupo amarillento*).

3. Colorimetría

El color de la madera se midió con un espectrofotómetro Mercury 2000 (Datacolor), y fue determinado de acuerdo con el espacio de color CIE 1976 *L*a*b** (ISO 11664-4: 2008) utilizando iluminación estándar CIE D65 y observador estándar de 10 °. Los valores de los parámetros colorimétricos de las muestras son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Promedio y desviación típica de los parámetros colorimétricos de los grupos segmentados por predominancia de elementos de color.

Grupos	*L**	*a**	*b**	*C**	*h*
Amarillento	69,3 ± 2,8	6,7 ± 0,8	21,9 ± 1,6	21,6 ± 1,4	66,9 ± 3,9
Rosáceo	71,7 ± 2,5	8,4 ± 1,5	19,7 ± 1,4	22,9 ± 1,6	73,0 ± 2,3

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó que todos los parámetros colorimétricos presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos amarillento y rosáceo, confirmando por tanto la existencia de dos grupos distintos en color.

4. Modificación térmica

La modificación térmica se llevó a cabo en condiciones atmosféricas normales en un horno de secado por convección forzada Binder (FD53), y se llevó a cabo en cinco etapas: un calentamiento inicial a una velocidad de 5 °C/min a partir de 20 °C hasta 103 °C ± 2 °C; una etapa de secado con tiempo variable a 103 °C ± 2 °C hasta que las muestras

alcanzaron un peso constante; un calentamiento secundario a una velocidad de 5 °C/min de 103 °C a la temperatura máxima de 140, 160, 180, 200 o 220 °C; la modificación térmica con una duración de 6 horas a la temperatura máxima y el enfriamiento natural dentro de un desecador hasta 20 °C.

5. Propiedades analizadas

Las propiedades analizadas son: la densidad, la dureza y el hinchamiento. La densidad se determinó de acuerdo con la norma UNE 56-531-77. Para la determinación de la dureza Brinell las probetas fueron preparadas de acuerdo a la norma UNE EN 1534. El hinchamiento lineal máximo (α) de las probetas fue determinado siguiendo la norma DIN 52184 (1979), utilizando las ecuaciones 1 y 2:

$$\alpha = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{min}} x\ 100$$	(1)
$$\alpha\ prom = \frac{\alpha_{radial} + \alpha_{tangencial}}{2}$$	(2)

En que α es el hinchamiento lineal máximo para las direcciones radial y tangencial expresado como porcentaje. L_{max} es la longitud máxima de la probeta en estado saturado, en la dirección que se considere. L_{min} es la longitud mínima de la probeta en estado seco, en la dirección que se considere.

Resultados y discusión

Los dos grupos pre-clasificados por color presentaron diferencias estadísticamente significativas en sus valores de densidad, como se puede observar en la Fig. 1. El grupo amarillento presentó un valor promedio de densidad más alto, de 820 kg/m³, en cuanto que el grupo rosáceo presentó un valor promedio 11% más bajo, de 730 kg/m³. En base a estos resultados se puede afirmar que existe una fuerte correlación entre el color y la densidad de las muestras de madera de *Eucalyptus globulus*.

La Fig. 2 presenta la apariencia visual del color de las muestras de los dos grupos y el efecto de diferentes temperaturas de termo-tratamiento en el cambio de color.

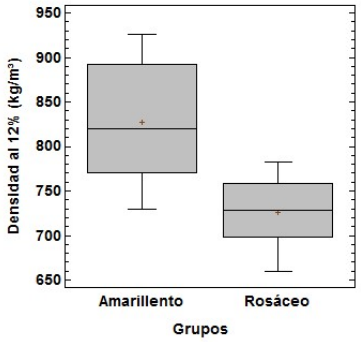


Figura 1. Densidad de las muestras separadas por grupos



Figura 2. Probetas del ensayo de dureza Brinell

La Fig. 3 presenta los resultados del ensayo de dureza Brinell para los dos grupos de muestras. Los resultados fueron marcadamente distintos entre los dos grupos. El grupo

amarillento presenta del orden del doble de dureza que el grupo rosáceo en su estado natural y también en todas las temperaturas de tratamiento térmico.
En los dos grupos, la modificación térmica no tuvo un efecto significativo en la dureza a los tratamientos por debajo de 220 ° C. Los valores promedio son superiores a 4 para el grupo amarillento y superiores a 2 para el grupo rosáceo tratados por debajo de 220 ° C.
La Fig. 4 presenta los resultados de la variación del hinchamiento lineal máximo de las muestras de los dos grupos. El grupo amarillento se muestra más estable dimensionalmente que el grupo rosáceo a los tratamientos por debajo de 220 ° C. El grupo rosáceo presenta una dispersión notablemente mayor de los datos. Los valores de hinchamiento disminuyen para los dos grupos a medida que la temperatura de tratamiento aumenta. A 220 ° C los dos grupos presentan porcentaje iguales para esta propiedad.

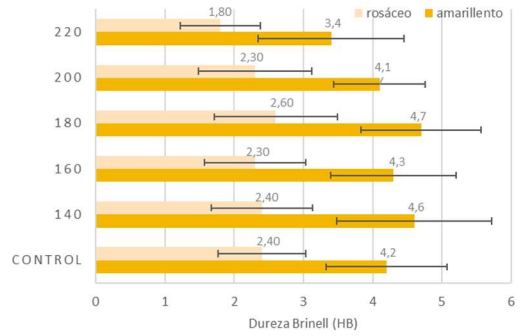


Figura 3. Efecto del tratamiento térmico sobre la determinación de la dureza Brinell de las probetas de los dos grupos de Eucalyptus globulus clasificados por el color.

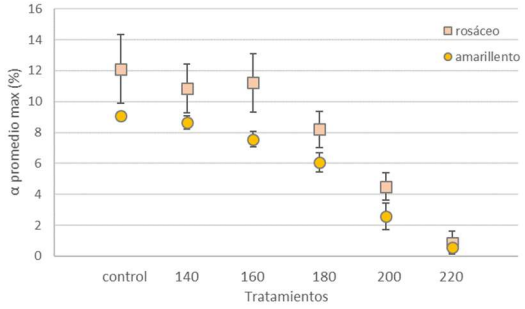


Figura 4. Efecto del tratamiento térmico en la variación del hinchamiento máximo de las probetas de Eucalyptus globulus clasificados por el color.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio realizado con muestras de *Eucalyptus globulus* sugieren que hay una correlación entre los grupos de colores identificados y las propiedades de hinchamiento y dureza, tanto antes como después de los tratamientos térmicos.
La pre-segmentación por color ha permitido que diferentes grupos con marcadas diferencias de calidad fuesen identificados. El grupo amarillento ha presentado mejores resultados en todos los casos que el grupo rosáceo. La variabilidad de las propiedades intra-grupo se ha reducido en todos los casos, antes y después de los tratamientos, con respecto a la variabilidad inter-grupo (sin segmentación). Por ello, la pre-segmentación por color superficial de la madera puede ser útil a nivel industrial, como método no destructivo, para una utilización más eficiente y efectiva de la madera.

Referencias

(1) Prieto, O. G.; Touza, M. C. (2009). Properties of thermally modified wood of Eucalyptus globulus from Spanish plantations. 40th Annual Meeting Beijing, China.
(2) AEIM (2014). Diagnóstico del sector de la madera en España. Jornada: "2014: Retos y oportunidades para el sector de la madera".
(3) Bermúdez, J. D., Touza, M.C., and Sanz, F. (2002). Manual de la Madera de Eucalipto blanco. Ourense: Fundación para el Fomento de la Calidad Industrial y Desarrollo Tecnológico de Galicia. 143 p. ISBN: 84-607-4430-2.
(4) Sepliarsky, F. (2006). Nuevos usos industriales de la madera de Eucalyptus globulus.
(5) Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., and Pereira, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (Pinus pinaster) and eucalypt (Eucalyptus globulus) wood. Wood Science and Technology, 41(3), 193-207.
(6) González, O., and Touza, M.C. (2009). Properties of thermally modified wood of Eucalyptus globulus from Spanish plantations. International Research Group on Wood Protection, 40th Annual Meeting, IRG/WP 09-40470. Beijing, China.
(7) Griebeler et al. (2017). Reduction of the surface colour variability of thermally modified Eucalyptus globulus wood by colour pre-grading and homogeneity thermal treatment. (En revisión).
(8) ISO 11664-4 (2008). Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* Colour space.
(9) UNE 56-531-77. Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.
(10) UNE EN 1534. Suelos de madera y parquet. Determinación de la resistencia a la huella (Brinell). Método de ensayo. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). Madrid.
(11) DIN 52184 (1979-05) Testing of Wood; Determination of swelling and shrinkage.

La durabilidad de las estructuras de madera al exterior construidas en el norte de España. El ejemplo de una estructura de madera en Pontevedra y la importancia del diseño constructivo en la durabilidad

David Lorenzo[a,d], Juan Fernández-Golfín[b], Alfonso Lozano[c], Manuel Guaita[d], Manuel Touza[e]

[a]ESCUELA INGENERÍA FORESTAL PONTEVEDRA, Campus A Xunqueira 36005 Pontevedra; [b]CIFOR-INIA, Carretera Coruña Km 7,5, 28080 Madrid; [c] Área de Ingeniería de la Construcción, EPI, Edificio Oeste nº 7, Campus de Gijón E-33203 Gijón; [d]USC Departamento de Ingeniería y Desarrolllo Rural y Civil, Campus Lugo 27002 Lugo; GAIN CIS-Madeira, [e]Parque Tecnológico de Galicia, 32901 San Cibrao das Viñas, Ourense, Spain

davidlorenzofouz@gmail.com

Palabras clave: utilice Madera, durabilidad, estructuras, exterior, hongos, pudrición, diseño.

Resumen

Estructuras de madera al exterior sobre el suelo como: puentes, pérgolas, tarimas, fachadas, etc., son ejemplos de maderas expuestas en situaciones de clase de uso 3, donde los elementos de madera están expuestos al clima y los ataques de hongos de pudrición son posibles dependiendo del clima y otros condicionantes como durabilidad natural de la madera, diseño, tratamiento y mantenimiento.

En toda Europa es muy común encontrar estructuras de madera al exterior construidas en madera aserrada o laminada, muchas de las cuales utilizan madera de coníferas como abeto, picea, alerce o pino.

En España, las estructuras de madera al exterior empezaron a ser muy populares desde la década de los años 90, cuando la madera aserrada y laminada fue utilizada para construir estructuras de madera en toda España. El material, madera aserrada o laminada era en muchos casos de abeto (*Abies alba*) y picea (*Picea abies*), procedente del centro y norte de Europa y sin un adecuado tratamiento preventivo que mejorase sus bajas durabilidades naturales.

Los proyectistas que diseñan estructuras de madera al exterior en España no disponen de herramientas y metodologías que les permitan valorar la durabilidad, comportamiento y vida de servicio de las obras de madera al exterior, lo cual depende de las características de la madera, clima local, detalles constructivos adoptados y

mantenimiento. La existencia de guías en centro y norte de Europa no resuelven el problema en España, debido a las diferencias climáticas, especies de madera y sistemas constructivos. Hay una degradación, comportamiento y vida de servicio en las estructuras de madera al exterior, inherente a cada localización geográfica (clima local), especie de madera, detalles constructivos y mantenimiento.

En el norte de España, el empleo de ciertas especies de madera, "tratamientos preventivos" y diseños constructivos, combinados con la variabilidad de condiciones climáticas (diferentes climas, microclimas y zonas de exposición) han provocado la aparición en muchos casos de procesos patológicos, fundamentalmente pudriciones y en menor medida degradaciones por insectos xilófagos, pocos años después de la puesta en servicio de las estructuras de madera.

En el caso de las estructuras al exterior construidas en abeto y picea, en muchos casos presentan solo unos años después de su puesta en servicio, importantes degradaciones y daños por hongos de pudrición. En algunos casos la magnitud y extensión de los daños es tal, que ha reducido la resistencia estructural de las piezas, afectando directamente a la seguridad estructural.

El ejemplo de una marquesina de madera al exterior localizada en Pontevedra construida en madera de picea, que se encuentra afectada por pudriciones tempranas en diferentes zonas, dependiendo de su exposición al clima, detalles constructivos y tiempo de humectación de la madera; de forma que el diseño y los detalles tienen una importancia crucial en la cinética de la degradación, durabilidad, comportamiento y vida útil. Este caso, resume la situación de muchas estructuras similares construidas en el norte de España y afectadas por pudriciones tempranas, apareciendo en muchos casos degradaciones importantes en menos de 10 años de vida de servicio y que en algunos casos ha obligado al cierre y sustitución de las estructuras.

1. DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA AL EXTERIOR

Clases de uso

El concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento de madera sea atacado por agentes biológicos y básicamente depende del contenido de humedad de la madera.

Es muy importante identificar correctamente la clase de uso a la que está expuesta un elemento de madera para seleccionar la especie de madera con la suficiente durabilidad o darle un tratamiento protector adecuado.

Durabilidad e impregnabilidad de la madera

La durabilidad natural de la Madera es la resistencia al ataque de organismos xilófagos, mientras que la impregnabilidad es la habilidad de penetración de un líquido en el

material. La durabilidad natural e impregnabilidad son dos aspectos fundamentales la durabilidad final de estructuras de madera al exterior.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas son un factor clave en la durabilidad de las estructuras de madera al exterior. Parámetros climáticos como lluvia, vientos dominantes, radiación afectan a la durabilidad y susceptibilidad de degradaciones de las maderas al exterior.

Se debe remarcar la importancia de los climas locales con elevadas humedades ambientales (costas, ríos, embalses, etc.), áreas con frecuentes nieblas, orientaciones, fachadas expuestas, lluvias dominantes, etc.; que deben ser tenidas en cuenta por los proyectistas.

Posición de los elementos de madera

La posición (vertical u horizontal) de los elementos de madera facilita la absorción y secado tras la exposición a la lluvia.

Espesor de los elementos de madera

El espesor de los elementos de madera influye en el secado de las mismas.

Diseño

Otro importante parámetro para asegurar un buen comportamiento de la madera en estructuras exteriores expuestas al clima son los detalles de diseño, como: orientación de las fibras, protección de testas, evitar trampas de agua, etc., que aseguren mantener la estructura lo más seca posible.

Mantenimiento

El mantenimiento es otro factor clave para asegurar una buena durabilidad de las estructuras de madera al exterior.

2. ESTRUCTURA DE MADERA EN PONTEVEDRA

El ejemplo de una marquesina de madera al exterior localizada en Pontevedra, noroeste de España, en un clima templado y lluvioso la mayor parte del año. La marquesina está localizada sobre la ría de Pontevedra con una elevada humedad relativa todo el año. Las lluvias dominantes proceden del suroeste.

La marquesina, construida en madera de picea, se encuentra afectada por pudriciones tempranas en diferentes zonas, dependiendo de su exposición al clima, detalles constructivos y tiempo de humectación de la madera; de forma que el diseño y los

detalles tienen una importancia crucial en la cinética de la degradación, durabilidad, comportamiento y vida útil.



Figura 1. Vista general de la marquesina



Figura 2. Detalle de la estructura de madera

La madera seleccionada (picea) se caracteriza por su baja durabilidad natural e impregnabilidad, por lo que no es la especie de madera más adecuada para emplear en una estructura de madera en esta localización. La madera de picea es muy difícil de tratar por lo que no es posible llegar al mínimo de protección requerido para asegurar la durabilidad de la estructura de madera.

En relación a los detalles constructivos, debido a los fuertes vientos dominantes el alero no es suficiente. Las cabezas de vigas no disponen de protección física y en algunos puntos la marquesina acumula agua (trampas de agua), entre otros detalles.

3. CONCLUSIONES

En la marquesina objeto de análisis se han detectado problemas de pudriciones tempranas en menos de 20 años de vida de servicio de la estructura de madera.

Los problemas son consecuencia de una incorrecta selección de la especie de madera (baja durabilidad y difícil de tratar), así como los detalles constructivos (que acumulan agua) y la localización de la marquesina en el noroeste de España (clima templado y lluvioso) y las condiciones particulares del clima local.

Este caso, resume la situación de muchas estructuras similares construidas en el norte de España y afectadas por pudriciones tempranas, apareciendo en muchos casos degradaciones importantes en menos de 10 años de vida de servicio y que en algunos casos ha obligado al cierre y sustitución de las estructuras.

En el norte de España, el empelo de ciertas especies de madera, “tratamientos preventivos” y diseños constructivos, combinados con la variabilidad de condiciones climáticas (diferentes climas, microclimas y zonas de exposición) han provocado la aparición en muchos casos de procesos patológicos, fundamentalmente pudriciones y

en menor medida degradaciones por insectos xilófagos, pocos años después de la puesta en servicio de las estructuras de madera.

En el caso de las estructuras al exterior construidas en abeto y picea, en muchos casos presentan solo unos años después de su puesta en servicio, importantes degradaciones y daños por hongos de pudrición. En algunos casos la magnitud y extensión de los daños es tal, que ha reducido la resistencia estructural de las piezas, afectando directamente a la seguridad estructural.

Referencias

(1) Jermer, J. (2007): Service life and performance of exterior wood above ground. Project WoodExter.

(2) Suttie, E. (2012): Performance standards for wood in construction-delivering customer service life needs. Project Performwood.

(3) Fernández-Golfín, J. (2014): Evaluation of functional behaviour of wood in outdoor above ground applications. Project MadExter.

(4) Norm FD P 20-651 2011 "Durability of wood products and works".

(5) EN 335 (2013) “Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products”.

(6) EN 350 (2016) "Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials".

(7) EN 460 (1995) "Durability of wood and wood-based products- Guide to the durability requirements for wood".

Sistema de autotensado para forjados de madera

Javier Estévez-Cimadevila[a], Dolores Otero-Chas[b], Emilio Martín-Gutiérrez[c], Félix Suárez-Riestra[d]
[a]Dr. Arquitecto, ETS Arquitectura A Coruña; [b]Dr. Arquitecto, ETS Arquitectura A Coruña
[c]Dr. Arquitecto, ETS Arquitectura A Coruña; [d]Dr. Arquitecto, ETS Arquitectura A Coruña
Grupo Investigación GEA-Grupo de Estructura Arquitectónicas
javier@udc.es

Palabras clave: pretensado, postesado, autotensado, forjados de madera

Resumen

Se presenta un novedoso sistema de autotensado patentado por los autores denominado SsS (Self stressing System). El sistema está constituido por un dispositivo multiplicador de fuerza que se coloca en los extremos de piezas simplemente apoyadas. El dispositivo se activa de forma automática con la carga gravitatoria trasmitida a los apoyos, generando el tesado de un tendón longitudinal dispuesto excéntricamente en la sección transversal del elemento flectado. La fuerza de tesado origina un momento flector de sentido contrario al producido por la acción gravitatoria, mejorando de forma significativa el comportamiento a flexión del elemento.

La eficacia del sistema permite diseñar vigas y forjados de tipo nervado constituidos por nervios de madera laminada encolada y tablero superior de madera contralaminada o de hormigón. Se trata de forjados esbeltos de altas prestaciones capaces de salvar grandes luces con cargas elevadas.

Se analizan los diferentes factores de diseño que caracterizan el comportamiento del sistema: geometría del dispositivo multiplicador, rigidez axil del tendón, rigidez a flexión del elemento y contraflecha inicial de fabricación.

Se describe una metodología de análisis que permite determinar todos los parámetros intervinientes en el diseño del sistema de autotensado con gran sencillez, obviando el proceso iterativo de cálculo a que obligaría el comportamiento no lineal del dispositivo multiplicador de fuerza.

Introducción

La técnica del pretensado lleva utilizándose largo tiempo en las estructuras de hormigón por su eficacia para combatir, en las piezas flectadas, la baja resistencia a tracción del material. En el caso de la madera, su elevada capacidad resistente tanto a tracción como a compresión paralela a la fibra ha dado lugar a una utilización mucho más reducida de esta técnica.

El pretensado de piezas de madera se ha realizado usando básicamente dos tipos de técnicas: pretensado con tendones adherentes, consistente en el tesado previo de un tendón de acero o FRP que se une posteriormente a la madera mediante adhesivo, generalmente resina epoxy o poliuretano [1,2]; pretensado con tendones no adherentes que se alojan en canales o vainas y cuya utilización se ha aplicado tanto en piezas flectadas, como medio para mejorar la rigidez de las uniones viga pilar en estructuras porticadas [3,4].

La perspectiva respecto a las posibles ventajas que pueda representar el uso del pretensado en la madera cambia sustancialmente si en lugar de enfocar el problema desde un punto de vista resistente se analiza atendiendo al comportamiento estructural a nivel de deformaciones. La dificultad para materializar uniones rígidas con este material hace que frecuentemente se recurra a elementos estructurales biapoyados. En tales circunstancias, especialmente a medida que se aumenta la luz, el dimensionado está fundamentalmente condicionado por su comportamiento en servicio, en cuyo caso, el pretensado puede convertirse en una técnica eficiente para el control de las deformaciones.

Sistema de autotensado

En los forjados de madera sometidos a cargas elevadas el dimensionado está usualmente determinado por el cumplimiento de la condición de servicio de integridad de elementos constructivos. Debido al reducido peso propio de este tipo de forjados, la carga que actúa sobre el elemento estructural cuando se colocan los elementos dañables (tabiquería, pavimentos, etc.) es de magnitud reducida en relación al valor de carga total. Ello hace que la condición limitante de diseño sea la deformación instantánea y la diferida que experimenta la pieza desde la colocación del elemento dañable. En tales circunstancias, una fuerza de pretensado de valor constante no aporta una ventaja significativa frente a una contraflecha de fabricación del elemento, por cuanto la deformabilidad del sistema a partir de la colocación del elemento dañable es muy similar esté o no pretensada.

Para obviar esta problemática se ha desarrollado el sistema de autotensado SsS© [5-7]. El sistema de autotensado consiste en apoyar las piezas en ambos extremos en un dispositivo multiplicador de fuerza acoplado a un tendón. Este dispositivo se conforma con un conjunto de bielas articuladas a las que se une el extremo del tendón que se dispone excéntricamente dentro de la sección transversal del forjado (Fig. 1). Las cargas aplicadas al elemento estructural activan de forma automática el dispositivo generando una fuerza de tesado cuya magnitud varía con el valor de las cargas aplicadas. El sistema presenta así dos grandes ventajas: por una parte, la fuerza de tesado se genera de forma autónoma, sin que se precise la utilización de gatos hidráulicos; en segundo lugar, el valor del tesado se ajusta a la magnitud de las cargas actuantes, lo que incrementa de forma significativa su eficacia.

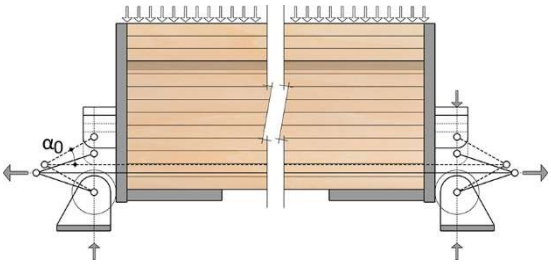


Figura 1. Sistema de autotensado.

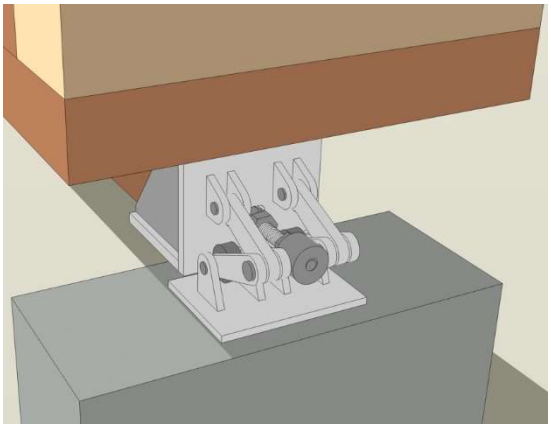


Figura 2. Dispositivo multiplicador.

Parámetros de diseño

El comportamiento del sistema depende fundamentalmente de cuatro parámetros de diseño: geometría del sistema, rigidez axil del tendón, rigidez a flexión del forjado, contraflecha de fabricación.

La geometría del sistema tiene una importancia decisiva en el comportamiento. La puesta en carga del dispositivo de autotensado da lugar a un alargamiento y, consecuentemente, a un tesado del tendón. Pero dicho alargamiento, como se puede ver en la Fig. 1, va acompañado de un asiento del apoyo. Dependiendo del ángulo que formen las bielas, el efecto sobre la pieza varía de forma sustancial. Cuanto menor es el ángulo, mayor es la fuerza de tesado aplicada y, por tanto, la eficacia del sistema, si bien esta situación se alcanza a costa de mayores asientos en los apoyos.

El segundo factor que condiciona el comportamiento es la rigidez axil del tendón. En definitiva, para un material dado, el área de su sección. El efecto sobre el conjunto es muy similar al del ángulo de las bielas. El empleo de áreas reducidas da lugar a un mayor alargamiento y, consecuentemente, a una mayor deformación del dispositivo de autotensado. Por tanto, tendones de área reducida son más eficientes pues dan lugar a mayores fuerzas de tesado pero acompañadas siempre de asientos más importantes.

El tercer parámetro de diseño lo constituye la rigidez a flexión, determinada fundamentalmente por el canto empleado. El canto influye en el comportamiento a deformación desde dos puntos de vista: en primer lugar, obviamente, incrementando la rigidez lo que da lugar a una menor deformación; en segundo lugar, un mayor canto incrementa la excentricidad con la que actúa el tendón y, por tanto, a igualdad de fuerza de tesado se genera un momento de contrarresto superior que genera una reducción en el valor de flecha.

Una elección adecuada de los anteriores parámetros de diseño en combinación con una contraflecha de fabricación nos permite diseñar forjados de elevada luz y gran esbeltez destinados a carga de uso público con un excelente comportamiento desde el punto de

vista de las deformaciones. A modo de ejemplo se ha analizado un forjado de 14 m de luz y sección π formado por un tablero superior de madera contralaminada de 90 mm de espesor y nervios de madera laminada GL28h de ancho 180 mm dispuestos con un intereje de 600 mm (Fig. 3). Se analizaron dos cantos de nervio (330 mm y 400 mm), lo que da lugar a cantos totales de forjado de 420 mm y 490 mm, respectivamente, con relaciones canto/luz de tan sólo 0,03 y 0,035. Se ha considerado un valor de carga permanente total de 2,0 kN/m^2 y una carga variable de uso de 3,0 kN/m^2. En la Fig. 4 se recogen las deformadas correspondientes a la hipótesis quasipermanente y a la hipótesis de carga total. Se puede observar como en la hipótesis quasipermanente, que representa la situación real de servicio durante la mayor parte de su vida útil, la deformación relativa o distorsión, es prácticamente nula, lo que avala la eficacia del sistema de autotensado.

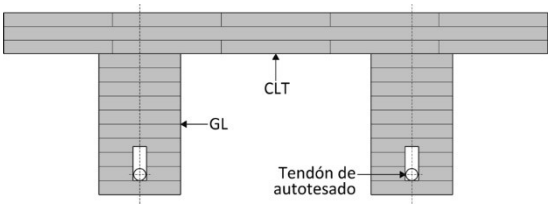


Figura 3. Sección de forjado π analizado.

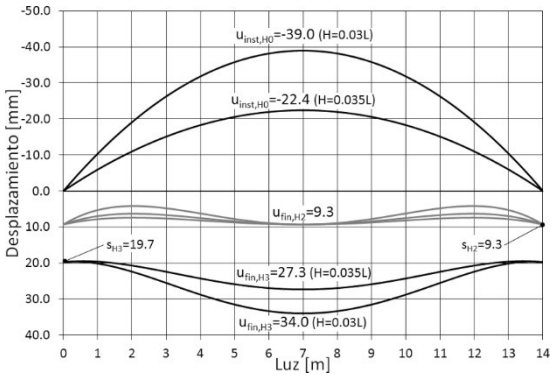


Figura 4. Dispositivo multiplicador.

Metodología de análisis

Uno de los problemas que presenta el diseño de los forjados con el sistema de autotensado es la complejidad de análisis derivada del comportamiento no lineal del sistema y de la interrelación entre todos los parámetros de diseño que se han señalado anteriormente. Ello hace que determinar los valores más adecuados de dichos parámetros se convierta en un proceso laborioso y complejo. Para obviar este problema se ha desarrollado una metodología de análisis de enorme sencillez que permite mediante una simple hoja de cálculo la determinación de los factores de diseño más adecuados para conseguir deformaciones relativas prácticamente nulas en la hipótesis quasipermanente de carga [8]. Para un diseño de forjado con una esbeltez dada, se establece un asiento de diseño, entendiendo por tal el valor admisible de asiento para la hipótesis de servicio que consideremos representativa (usualmente, la hipótesis quasipermanente). La simple resolución del polinomio de cuarto grado (1) nos permite conocer de forma inmediata todos los factores intervinientes que nos conducen a una deformación nula para dicha hipótesis de diseño, así como las deformaciones correspondientes a cualquier hipótesis combinatoria de carga.

$$\xi_i^4 + \eta_i \cdot \xi_i^3 - \left[z_0^2 - \left(\frac{\eta_i}{2} \right)^2 \right] \cdot \xi_i^2 - \eta_i \cdot d^2 \cdot \xi_i - \left[d^2 - \left(\frac{\eta_i}{2} \right)^2 \right] = 0 \qquad (1)$$

Conclusiones

El sistema de autotensado constituye una solución altamente eficiente para la construcción de forjados esbeltos de elevada luz con un buen comportamiento desde el punto de vista de las deformaciones.

Una elección adecuada de los diferentes parámetros de diseño que caracterizan el comportamiento estructural del sistema de autotensado permite conseguir deformaciones relativas durante su vida en servicio de muy reducida magnitud.

Agradecimientos

Esta investigación forma parte del proyecto “Sistemas prefabricados de altas prestaciones en madera laminada pretensada con tendones no adherentes” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Referencias

(1) De Luca V.; Marano C. Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars. Construction and Building Materials **2012**; 30:206–217.
Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.11.016
(2) Yusof A.; Saleh AL. Flexural strengthening of timber beams using glass fibre reinforced polymer. Electronic Journal of Structural Engineering **2010**; 10:45-56.
(3) Buchanan A.; Palermo A.; Carradine D.; Pampanin S. Post-tensioned timber frame buildings. Structural Engineer **2011**; 89(17):24-30
(4) Smith, T.; Ponzo, F.C.; Di Cesare, A.; Pampanin, S.; Carradine, D.; Buchanan, A.H.; Nigro, D. Post-tensioned glulam beam-column joints with advanced damping systems: Testing and numerical analysis. Journal of Earthquake Engineering **2014**, 18(1), 147-167.
Doi: 10.1080/13632469.2013.835291
(5) Estévez-Cimadevila J. ; Otero-Chans D.; Martín-Gutiérrez E.; Suárez-Riestra F. Self-tensioning system for long-span wooden structural floors. Construction and Building Materials **2016**; 102:852-860. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.11.024
(6) Otero-Chans D.; Estévez-Cimadevila J.; Martín-Gutiérrez E.; Pérez-Valcárcel J. Application of a new system of self-tensioning to the design of long-span wood floor framings. Journal of Structural Enginering, 04016012(**2016**) 1-12
Doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001486
(7) Estévez-Cimadevila J. ; Otero-Chans D.; Martín-Gutiérrez E.; Suárez-Riestra F. Long-span wooden structural floors with self-tensioning system: performance under asymmetrical loads. Advances in Materials Science and Engineering, Vol**. 2016**, Article ID 3696025, 11 pages, 2016. Doi:10.1155/2016/3696025
(8) Suárez-Riestra F.; Estévez-Cimadevila J.; Otero-Chans D. Metodología de análisis de forjados autotesado de madera. Informes de la construcción nº 547. IC-16-076. **2017**.

Sistematización de la intervención en edificaciones con estructuras de madera: UNE 56418

J. Galván[a], D. Lorenzo[b], L. Robertson[a], C. Villagrá[c], J. Queipo[c], M. Gaju[d], M.T. Troya[a]
[a]Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Alimentarias INIA. Departamento de productos forestales. Crta. Coruña km 7, 28028, Madrid.
[b]PEMADE. Universidad de Santiago. Campus Universitario s/n, 27002, Lugo.
[c]Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Unidad Técnica de Calidad en la Construcción. c/ Serrrano Galvache 4, 28030, Madrid.
[d]Universidad de Córdoba. Departamento de Zoología. Autopista Madrid-Cádiz (A4), Salida 396ª, 14014, Córdoba.
troya@inia.es

Palabras clave: madera, casco urbano, xilófagos, termitas subterráneas, bioeconomía sostenible.

Resumen

Las termitas subterráneas son un problema en los países mediterráneos ya que su climatología favorece su desarrollo. En España, el ataque de termitas en las construcciones con elementos de madera (patrimonio cultural u obra nueva) es muy grave. En la actualidad existen muchos tipos de tratamientos frente al ataque de estos insectos, sin embargo, en España hasta ahora no se ha contado con una metodología de actuación que permitiera controlar los daños, como ocurre en otros países. Gracias al esfuerzo conjunto de profesionales pertenecientes a universidades, centros de investigación y empresas especializadas en el tratamiento de organismos xilófagos, se ha desarrollado la norma UNE 56 418:2016 *"Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas"*. Esta norma proporciona una herramienta de apoyo a los técnicos del sector de la construcción, ya que establece una línea de actuación básica cuando un conjunto de edificaciones (cascos históricos, cascos urbanos, barrios, urbanizaciones, etc.) se ve afectado por un ataque de termitas subterráneas, y que las administraciones públicas, organizaciones y empresas de tratamientos pueden seguir. En este trabajo se exponen los puntos básicos que establece la norma, así como las carencias existentes en este campo.

Introducción

Durante la historia del hombre, la madera le ha acompañado como material de construcción. En principio la construcción debía adaptarse a las necesidades del hombre, pero este hecho cambió cuando apareció el concepto de sostenibilidad.

Por diferentes razones, el uso de la madera ha sido denostado en nuestro país en los últimos tiempos. Sin embargo, se trata de un material empleado en construcción de viviendas desde el Neolítico. Hoy en día los productos de madera, al igual que las

técnicas constructivas, han evolucionado mucho consiguiendo, gracias a la tecnología, poner en el mercado productos técnicamente competitivos con otros materiales y que cuentan con unas credenciales medioambientales francamente buenas.

Casi la mitad de los materiales utilizados en la Unión Europea están destinados a la construcción y mantenimiento de edificios. Por ello, la elección de materiales y soluciones constructivas de bajo impacto ambiental en todo su ciclo de vida se convierte en tema clave en el proceso de conseguir una Construcción más Sostenible y alcanzar así los objetivos de reducción de emisiones, acorde con los criterios europeos de bioeconomía sostenible.

La madera por sus propiedades físico-mecánicas, su estética, y sus credenciales medioambientales como material sostenible sumidero de carbono, es hoy en día uno de los más apreciados en la construcción, pero, sin embargo, no existe información suficiente que aporte datos sobre el patrimonio construido con madera, o sobre el número exacto del parque edificatorio existente. En la Tabla 1, se recogen los datos de las viviendas de madera en España, teniendo en cuenta que el 90 % de los edificios construidos con anterioridad a 1920, presentan en su estructura madera, ya sea completa, o en edificios con muros de carga y forjados o cubiertas de madera.

Tabla 1. Viviendas de madera en España

	Principales	%	Secundarias	%	Vacías	%
Total	18.083.692	100	3.681.565	100	3.443.365	100
Hasta 1920	945.857	5.28	310.667	8.44	366.057	10.63
Estructura madera	851.271	4,75	279.600	7.6	329.451	9.57

Según los datos de la Tabla 1 casi el 5 % de las viviendas principales españolas presentan estructura de madera; también en torno al 7,5 % de las secundarias, y hasta cerca del 10% de las vacías, por lo que hay alrededor de un millón y medio de viviendas que presentan madera en su estructura. En función de la época de construcción la gran mayoría de estas edificaciones se encuentran en los casos históricos de las ciudades, y en muchos casos su estado es deficiente.

El Instituto de Patrimonio Nacional de España (IPCE), cuenta con 16.146 Bienes de Interés Cultural (BIC), además de otros edificios protegidos. Casi la totalidad de los mismos tienen madera en su estructura, y sobre ellos el IPCE interviene llevando a cabo restauraciones y conservación de cubiertas, estructuras, sistemas estructurales, etc.. Esta intervención cubre entre el 70 y el 80 % de los casos.

Por otro lado, el parque edificatorio perteneciente a Patrimonio Nacional ha sido intervenido prácticamente en su totalidad; sin embargo, existen algunos edificios como El Monasterio del Escorial que a pesar de haber sido tratado de forma continuada presenta daños de xilófagos graves y aún sin solucionar.

Teniendo en cuenta los datos expuestos anteriormente y que el deber de conservación del edificio en edificios particulares aparece por primera vez en la ley de suelo, se prevé

que el daño en viviendas privadas, situadas en su mayoría en los cascos urbanos de las ciudades, sea al menos similar al que existe en los edificios pertenecientes al IPCE y a Patrimonio Nacional.

La normativa actual sobre la ordenación urbana plantea la sustitución de la antigua Inspección Técnica de Edificios (ITE), por el Informe de Evaluación de Edificios (IEE), incorporando así la eficiencia energética como uno de los parámetros a medir acorde con las exigencias planteadas por la normativa europea. Dicho informe en su apartado de descripción normalizada de las deficiencias de conservación del edificio incorpora la presencia de organismos xilófagos como uno de los parámetros a medir, pero no describe en ninguna parte del texto la forma de realizar dicha evaluación

Como resultado de todo lo expuesto y gracias al trabajo del Grupo de expertos en Termitas perteneciente al Subcomité 4 "Protección de Maderas" del Comité Técnico de Normalización-CTN56 "Madera y Corcho" de AENOR, se ha elaborado un protocolo técnico que permite la sistematización de las intervenciones de control de plagas de termitas subterráneas en núcleos urbanos, tanto en los edificios como en sus entornos, mediante la especificación de unas pautas de procedimiento básicas. Este protocolo ha culminado con la publicación de la norma UNE 56418 "Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por el ataque de termitas subterráneas".

En esta norma se muestra cómo se debe llevar a cabo una intervención de este tipo, que causa daños en edificios con estructuras, carpinterías y bienes de madera, tanto en casos históricos como de obra nueva. El protocolo de actuación consta de un plan de actuación integral y metódico para solucionar el problema en los edificios afectados y en su entorno, de unas medidas adicionales, y unos anexos que complementan toda la información necesaria para llevarlo a cabo.

Norma UNE 56418

El plan de actuación se divide en cuatro fases:

Fase de activación

El plan de actuación debe ser activado ante la aparición de ataques de termitas subterráneas en una o varias edificaciones del casco urbano, ya sea por manifestación de patologías de termitas en elementos de madera o por la presencia real de termitas subterráneas.

Fase de diagnóstico

En esta fase se necesitan dos tipos de diagnósticos:
- *Diagnóstico de la plaga de termitas subterráneas*

El objetivo de esta fase es conocer la magnitud y extensión de la plaga de termitas subterráneas en el casco urbano afectado y las condiciones que influirán a la hora de diseñar e implantar el Plan de Actuación.

- *Diagnóstico estructural de los edificios afectados*

Si en el punto anterior, los técnicos especializados en patologías determinan la posibilidad de daños en la estructura y seguridad del edificio, deberán informar de inmediato a los técnicos competentes en materia de estructura (arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros, ingeniero técnico). Para determinar si se considera que un inmueble puede tener su estructura afectada se ha elaborado una lista con una serie de indicios a comprobar.

Fase de tratamiento

El objetivo de esta fase es el tratamiento y control de la plaga de termitas subterráneas en el casco urbano afectado. Una vez delimitada la zona a tratar (ámbito de actuación), se elaborará un plan de control eligiendo el tipo de tratamiento más adecuado frente a la plaga de termitas, en función del grado de infestación, distribución y extensión de las termitas detectadas, teniendo en cuenta las características de los edificios y del entorno. La ejecución del tratamiento a nivel integral en el casco urbano coordinará e integrará técnicas y métodos de lucha existentes contra las termitas.

Fase de mantenimiento y vigilancia

El objetivo de esta fase, que se inicia cuando la plaga de termitas ya ha sido controlada, es mantener el área tratada libre de termitas y vigilar que no se produzcan re infestaciones en dicha área. La necesidad de vigilancia se basa en la biología de estos insectos, ya que las termitas subterráneas pueden sufrir fluctuaciones poblacionales en su ciclo de vida, siendo necesario continuar con una serie de actuaciones frente a posibles reactivaciones o brotes dentro de la zona tratada, procedentes del exterior del ámbito de actuación.

Conclusión

La aplicación de esta norma sirve para unificar criterios de intervención a las diversas empresas de tratamientos curativos, así como facilita a los ayuntamientos y municipios gestionar el daño de termitas subterráneas, hecho que hasta el momento no se ha llevado a cabo con un criterio uniforme.

De igual forma, esta norma abre el camino para que los técnicos implicados en la inspección de edificios con estructuras de madera puedan hacer una correcta evaluación de daños de organismos xilófagos.

Por último, destacar que esta norma ha servido de base para la instauración de intervenciones similares en otros países como Portugal.

Referencias

Benigno, A. et al. **2012**. "Caso práctico de aplicación de Access en la redacción de Dictámenes de Patologías". Actas del 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012 PATOLOGÍA. 5. Inspección Técnica de Edificios (ITE).

Celada, M., Díaz, F. 2009. "Régimen Jurídico de la inspección técnica de edificios". Aranzadi (1ª edición).

Díaz, C. **2012**. "Las lesiones aparentes y la apariencia del riesgo en la inspección de edificios". Actas del 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012 PATOLOGÍA. 5. Inspección Técnica de Edificios (ITE).

"Medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, de control del gasto público y cancelación de deudas con empresas y autónomos contraídas por las entidades locales, de fomento de la actividad empresarial e impulso de la rehabilitación y de simplificación administrativa". **2013**. Real Decreto Ley 8/2011 (BOE nº 161, 07/07/2011).

Monjo, J., Maldonado, L. **2005**. "Manual de inspección técnica de edificios", Munilla Lería.

"Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas", 2013-2016. **2013**. Real Decreto 233/2013 (BOE nº 86, 10/04/2013).

"Rehabilitación, regeneración y renovación urbanas". **2013**. Ley 8/2013 (BOE nº 153, 27/06/2013).

Rodríguez, C. **2012**. "La racionalización de la inspección técnica". Actas del 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012 PATOLOGÍA. 5. Inspección Técnica de Edificios (ITE).

Sánchez, D. **2012**. "¿Es posible un modelo único de ITE?". Actas del 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios. PATORREB 2012 PATOLOGÍA. 5. Inspección Técnica de Edificios (ITE).

"Texto refundido de la Ley de Suelo". **2008**. Decreto Ley 2/2008 (BOE nº 154, 26/06/2008).

Aenor **2016**. UNE 56418: Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas.

Particularidades de la aplicación de las técnicas no destructivas en piezas de madera de gran longitud procedentes de estructuras existentes

Osuna, C.[a], Íñiguez-González, G.[a], Esteban, M.[a], Llana, D.F.[a], Arriaga, F.[a]
[a] Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental, Universidad Politécnica de Madrid, MONTES (ETS de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural), España.
c.osuna@alumnos.upm.es

Palabras clave: madera de gran longitud, técnicas no destructivas, medidas in situ, velocidad de onda, frecuencia natural.

Resumen

En este estudio se analizan las singularidades de la aplicación de las técnicas no destructivas en piezas de madera de gran longitud procedentes de estructuras existentes. Actualmente, se trata de un proyecto en desarrollo, por lo tanto, este documento se centra en las particularidades geométricas de madera estructural procedente de la rehabilitación del Teatro Real Coliseo Carlos III de Aranjuez. Se plantea conocer las propiedades mecánicas de las piezas de madera y también, se propone la aplicación de tres métodos de medición de la sección transversal. A través de los resultados obtenidos con un ensayo a flexión y ensayos no destructivos se realiza un análisis estadístico. Se observó una mayor variación de la anchura que del canto en las piezas de madera. Además, se obtuvo una buena correlación entre el módulo de elasticidad estático y dinámico pudiendo predecir el módulo de elasticidad estático con técnicas no destructivas. Finalmente, entre los métodos de medición geométrica planteados el más adecuado fue el método que considera la media de la sección a lo largo de la pieza con el equipo de vibración, y para los sistemas de medida de tiempo de vuelo el método de medición de la media del tramo central.

Introducción

La determinación de las propiedades mecánicas con técnicas no destructivas en piezas de madera para evaluar estructuras históricas tiene un gran interés desde el punto de vista práctico, realizando medidas in situ, y técnico, permitiendo estudiar las propiedades mecánicas y sus particularidades en madera de gran escuadría y longitud.

En este estudio, se han realizado mediciones en piezas de madera antigua con unas medidas de 160 por 200 milímetros de sección transversal media y con una longitud comprendida entre 8 y 10 metros. Las piezas proceden de los pares de la cubierta del Teatro Real Coliseo Carlos III de Aranjuez, Madrid, que fue construido en el año 1768 por orden del rey Carlos III. Hay que tener en cuenta que esas piezas tienen unas características específicas que las diferencian de otras piezas de menor dimensión. Normalmente, el valor de la sección transversal varía significativamente a lo largo de la longitud, la relevancia de las fendas y daños es grande, la presencia de la albura es

recuente, existen diferentes relaciones entre nudos y las dimensiones de las secciones transversales y las condiciones in situ limitan la clasificación visual.

Se han analizado varios parámetros como la geometría de las piezas, las propiedades físico-mecánicas, la posición de la pieza puesta en obra, y medidas con técnicas no destructivas basadas en la velocidad de onda ultrasónica o de impacto a través del material, o en la frecuencia propia de vibración longitudinal. El análisis de la variabilidad de todos los parámetros primarios como las propiedades geométricas de la sección, de la rigidez de la pieza, la frecuencia de vibración y la velocidad de la onda permiten conocer el orden de magnitud en la precisión de estimación.

Además, la propuesta en este estudio sobre la aplicación de tres métodos de medida de la sección transversal pretende acercarse a la problemática que supone la dificultad en la medición in situ de piezas. Se plantea si se admite un margen de error asumible en la estimación de las propiedades mecánicas a través de ensayos no destructivos aplicando un número menor de medidas de la sección transversal.

Material de ensayo

El material de ensayo empleado para este proyecto está compuesto de 21 piezas de madera. Sus dimensiones nominales son aproximadamente 160 x 200 x 11000 en mm. Se realizó una identificación por microscopio mediante la extracción de muestras. Se determinó que podía ser Pinus sylvestris L. o Pinus nigra ssp. salzmannii (Dunal) Franco. No se pudo distinguir entre ambas por las limitaciones que supone el método.

Preparación de las muestras

El marcado de las piezas se realizó dejando 20 cm de margen en los dos extremos desde la testa. Se marcaron líneas perpendiculares a la fibra a distancias de 50 cm hasta los 2 m de longitud desde el origen, y las demás a 1 m de longitud hasta el final. En algunas piezas, por ser de mayor longitud se hizo una última división de 50 cm

La medición de los parámetros geométricos principales, como el ancho de la sección, b y la altura o canto de la sección, h, se ha realizado mediante tres métodos. En el primer método (A), se ha realizado una medición muy detallada de la pieza, tomando los valores de b y h, en cada una de las marcas realizadas descritas con anterioridad. El segundo método (B) se han registrado tan sólo dos mediciones centrales, entre las medidas a 4 y 6 metros desde el origen. En el último método (C) se ha considerado una única medición en uno de los extremos, simulando la dificultad de medida en obra y siendo esta medida mucho más variable que el resto.

Contenido de humedad

Para la medición del contenido de humedad en las piezas de madera se ha utilizado el xilohigrómetro de resistencia eléctrica Hydromette RTU 600 (Gann Mess-u.

Regeltechnik GmbH, Alemania), según establece el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 13183-2:2002. Se obtuvo una media de 11,9 % de contenido de humedad.

Geometría

Los resultados medios de las mediciones geométricas se recogen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Dimensiones de la sección.

Método	Ancho medio de sección, b [mm]	CoV de b [%]	Altura media de sección, h [mm]	CoV de h [%]
A	150	11	194	3
B	151	12	196	5
C	147	12	193	5

Tabla 2: Momentos de inercia.

Método	Momento de inercia medio [mm^4]	CoV de I [%]
A	$9{,}22 \cdot 10^7$	12
B	$9{,}53 \cdot 10^7$	17
C	$8{,}91 \cdot 10^7$	21

Ensayo a flexión

Este ensayo consiste en realizar con un comparador medidas de la flecha en el centro de las piezas de madera al someterlas a ciertas cargas con el fin de obtener una estimación del módulo de elasticidad. Se emplearon 21 placas de acero con una carga total de 1196 N. La ecuación que permite obtener el módulo de elasticidad estático es:

$$E = \frac{\frac{P}{(f_1 + f_2)} \times L^3}{28{,}174 \times I} \quad (1)$$

donde: E, es el módulo de Elasticidad para la pieza "i" (N/mm^2), P es el peso de las 21 cargas (N), f es la deformación en el centro de la pieza (mm), L es la luz entre los apoyos (mm), I, es el momento de inercia de la pieza (mm^4)

Equipos de medida de tiempo de vuelo y de vibración

Los equipos utilizados para la medición de los ultrasonidos fueron: Sylvatest Duo (CBS-CBT, Francia-Suiza) y USLab (Agricef, Campinas, Brasil), de ondas de impacto: MicroSecond Timer (MST) (Fakopp Enterprise, Sopron, Hungría). Para medir la frecuencia natural de las piezas de madera se utilizó el equipo Portable Lumber Grader (Fakopp Enterprise, Sopron, Hungría), abreviado PLG.

La ecuación que permite obtener el módulo de elasticidad es:

$$E = \text{densidad} \times (\text{velocidad})^2 \quad (2)$$

Los resultados de los coeficientes de determinación en una regresión lineal entre el módulo de elasticidad estático y dinámico obtenidos se recogen en la tabla 3.

Tabla 3: Coeficientes de determinación entre módulo de elasticidad estático y módulo de elasticidad dinámico.

Método	PLG (%)	Micro Second Timer (%)	Sylvatest Duo (%)	USlab (%)
A	80	42	47	50
B	57	67	69	70
C	38	11	13	15

Conclusiones

Las dimensiones de la sección media asignada a las piezas presentan coeficientes de variación elevados, con un valor claramente mayor en el ancho de la sección. En piezas antiguas de madera la variación de la escuadría es mucho mayor que en piezas nuevas y por tanto su influencia en la estimación de propiedades mecánicas es más relevante.

El módulo de elasticidad dinámico obtenido con el equipo de vibración, se asemeja más al módulo de elasticidad estático obtenido en la aplicación de los tres métodos planteados (A, B y C) con unos valores medios menores, pero presenta un mayor coeficiente de variación.

En relación con el método es más adecuado para medir en estructuras existentes se comprueba que para el equipo de vibración, el método con mejor coeficiente de determinación ha sido el método A. Sin embargo, el método de vibración difícilmente puede utilizarse en obra para piezas existentes. Para los equipos de medida de tiempo de vuelo, las mejores relaciones se han obtenido aplicando el método B, dónde se consideran tan sólo dos medidas en el tercio central.

Agradecimientos

Ministerio de Economía y Competitividad, España, Programa Estatal I + D, 2013–2016, Proyecto: BIA2014-55089-P. Antonio Arce Rodríguez de Intrama S.A. e Ignacio Bobadilla Maldonado de la UPM.

Referencias

(1) Arriaga, F., Íñiguez, G., Esteban, M. and Bobadilla, I. Proposal of a methodology for the assessment of existing timber structures in Spain. 16th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Beijing Forestry University, Beijing, China. 2009, 145-151.

(2) Arriaga, F.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G.; Bobadilla, I.; Llana, D.F.; González-Sanz, M. Structural assessment of the timber structure of the Casa Grande building in the Real Cortijo de San Isidro, Aranjuez, Madrid (Spain). 18th International

Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Madison, Wisconsin, EEUU. 2013, 233 - 244.

(3) Arriaga, F.; Llana, D.F.; Aira, J.R.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G. Time lag determination on ultrasound wave measurement using different sensors positioning. World Conference on Timber Engineering, Viena, Austria. 2016.

(4) Arriaga, F.; Llana, D.F.; Martínez, R.; Esteban, M.; Íñiguez-González, G. The influence of sensor placement on in-situ ultrasound wave velocity measurement. 19th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brasil. 2015.

(5) Esteban, M., Montero, M.J., Mateo, R., Íñiguez-González, G., Arriaga, F. y Bobadilla, I. Análisis comparativo de procedimientos para la medición de las gemas y evaluación de su influencia en la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de Pinus sylvestris L. de gran escuadría. CIMAD 11. 1er Congreso Ibero-Latinoamericano da Madeira na Construcao, Coimbra, Portugal. 2011, 223-224.

(6) Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Esteban, M.; Llana, D.F. Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber structures. Construction and Building Materials. 2015, 101; 1166 - 1171.

(7) Llana, D. F.; Íñiguez-González, G.; Montero, M. J.; Arriaga, F.; Esteban, M. Non destructive evaluation procedure for structural grading of sawn timber: preliminary works in Spain. IUFRO Conference. Division 5. Forest Products. 2012, 114.
Llana, D.F., Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Wang, X. Time-of-flight adjustment procedure on for acoustic measurements in structural timber. BioResources. 2016, 11(2), 3303-3317.

(8) Llana, D.F.; Íñiguez-González, G.; Arriaga, F.; Niemz, P. Influence of temperature and moisture content in non-destructive values of Scots pine (Pinus sylvestris L.). 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Madison, Wisconsin, EEUU. 2013, 451 - 458.

(9) Mateo, R., Montero, M.J., Íñiguez-González, G., Arriaga, F., Hermoso, E. y Esteban, M. Análisis de parámetros de medición de fendas para la estimación de las propiedades mecánicas de vigas de madera de Pinus sylvestris L.. CIMAD 11. 1er Congreso Ibero-Latinoamericano da Madeira na Construcao Coimbra, Portugal. 2011, 229-230.

La construcción con madera adaptada a diferentes tipologías y a diferentes entornos des de la ciudad a lugares extremos de alta montaña

Josep Bunyesc Dr.arquitecto
c/arboretum 21 25199 Lleida
josep@bunyesc.com

Palabras clave: estructura madera, prefabricado, casa positiva, construcción extrema

Resumen

En este artículo explicamos diferentes ejemplos de edificios que hemos construido con estructura de madera prefabricada, ejemplos de diversas tipologías, des de edificios públicos, viviendas, naves industriales y refugios de montaña construidos con helicóptero. Son ejemplos muy diversos para mostrar que la estructura prefabricada de madera es muy versátil y se adapta a situaciones muy distintas.

Rehabilitación y ampliación del centro cívico Can Portabella en Barcelona, del S: XIX a edificio positivo.

Estrategia arquitectónica

Se conservan las fachadas del edificio existente y el forjado del techo de planta baja, del cual quedan vistos los revoltones manuales y viguetas metálicas existentes a modo de falso techo y protección del forjado nuevo de madera estructural contralaminada o entramado ligero. En esta parte del edificio se mantiene algún arco y pilares de fundición originales que conservan y dan continuidad al aspecto original del edificio de la época industrial de finales del S.XIX.



Figura 1. Planta primera del edificio.



Figura 2 sección bioclimática transversal verano

Se recupera el patio original central creando un vacío a la parte sur de la segunda planta que permite convertir el patio central en un lucernario con entrada de luz lateral para maximizar el aporte en invierno y limitarlo con su voladizo en verano.
Este patio permite tener luz natural en el centro del edificio y una relación visual general que permite entender el edificio justo al entrar.

Estrategia constructiva
La nueva estructura de muros de fachada es de madera de entramado ligero con su aislante en el interior de 16cm. En la parte rehabilitada se aíslan los muros de mampostería de piedra de 45cm de grosor por el exterior con un aislamiento de fibra de madera de 12cm y con un mortero de acabado transpirable. Esto le garantiza una estabilidad térmica importante.



Figura 2.4.5. Relación entre la parte existente y la parte construida de nuevo y ampliada (izquierda) y sala de actos con estructura integra de madera contralaminada aparente (derecha).

Los muros de carga nuevos, en el interior, también son de madera contralaminada vistos y con RF90 gracias a su grosor de 20cm que actúa como autoprotección en situación de incendio por efecto de la carbonización del material. Los forjados son de madera maciza laminada o contralaminada con chapa flotante acústica por la parte superior y un linóleum de acabado. La cubierta, también de madera, con aislamiento de algodón reciclado de 24cm a la parte superior con acabado de chapa ventilado.



Figura 6.7. Interior de una de las salas de planta primera e imagen de los 12 cm de fibra de madera como aislante perimetral exterior de la fachada existente.

Toda la parte estructural de madera es de grosores considerables, ya que en algunos lugares como el salón de actos salva luces de 8,5 metros. Es por eso que suma más de 150m3 de madera. Además, en su totalidad capturan más CO^2 en su interior que todo el proceso de obra y sus materiales utilizados, siendo esta obra de rehabilitación una intervención a nivel de emisiones de CO^2 positivo.

Nave industrial con madera maciza local de 26x60 metros.

Se utiliza la construcción de una nave industrial para demostrar el potencial estructural de la madera maciza local. En un terreno con pendiente, el edificio adosado a otro industrial tiene apoyos cada 10 metros con una luz de 26 metros. En la parte baja un forjado mixto de 7 m de luz madera hormigón que puede soportar 3.000 kg/m^2 que se separa del terreno con un muro de contención de hormigón. Una fachada larga es un muro de contención de hormigón y el otro lado una fachada ligera de madera de más de 8 metros de alto que tiene que sustentar un puente grúa con gran esfuerzo horizontal. Esta solicitación genera la inclinación de la estructura vertical de tal modo que funciona como arriostramiento. La cercha principal con cierto punto es triangulada para seguir la triangulación de la estructura gravitatoria.

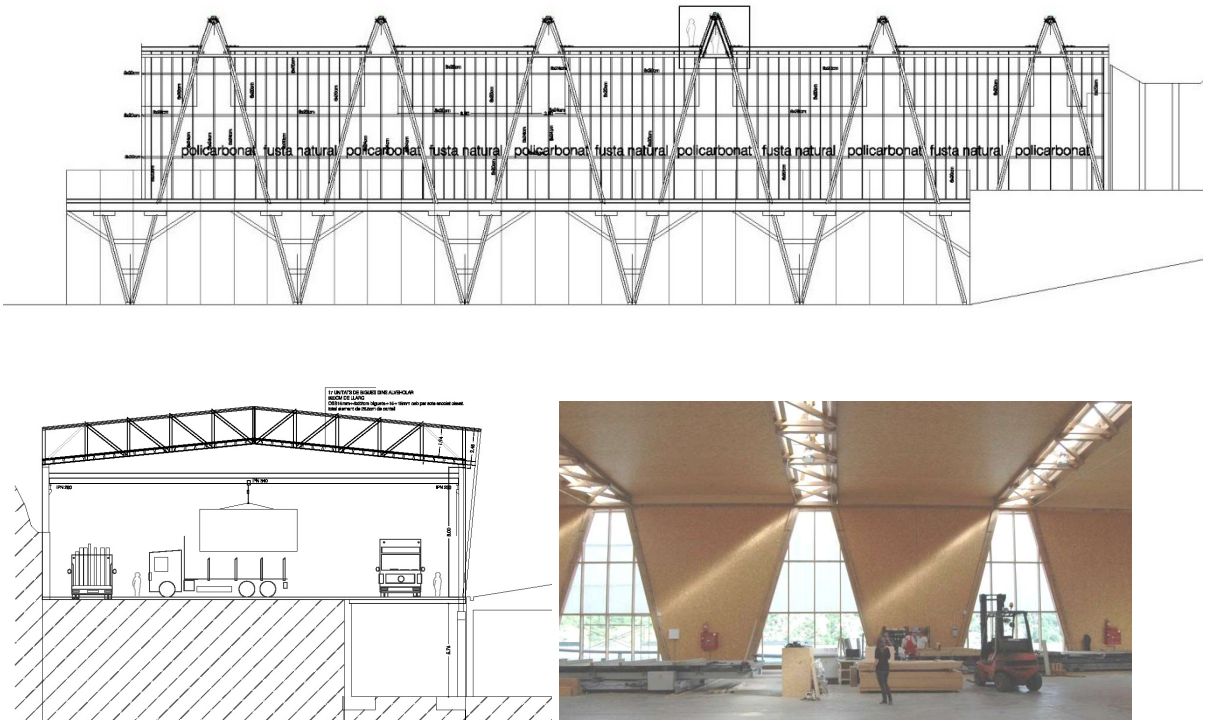


Figura 8.9.10 sección longitudinal con la estructura vertical inclinada y forjado intermedio 9. Sección transversal con jácena celosía de 26metros y 10. Imagen del espacio interior en uso.

Ampliación refugio colomina a 2400 metros

Los elementos prefabricados de madera donde son más apropiados y competitivos es en las construcciones que requieren ligereza y rapidez. La construcción en altitud, que se realiza en helicóptero requiere ligereza y rapidez. Este caso se construye toda la estructura en un día y cinco horas de vuelo de helicóptero que transporta y coloca a su lugar 40 paneles de madera. Los elementos horizontales contralamaninados y las paredes y cubierta de entramado ligero con aislamiento en su interior.



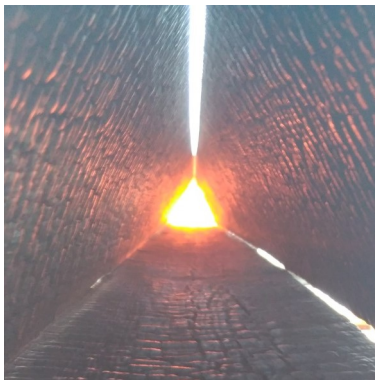
Figura 11 - 18 3d proyecto fabricación paneles de madera1 12. Imágenes del montaje de los paneles de madera con el helicóptero e imágenes del resultado final del edificio que se adosa a un edificio de madera que tiene 100años de antigüedad.

Al día siguiente se montan los minipaneles de fachada ventilada de alerce preparados para poderlos manipular manualmente. Las ventanas previamente fabricadas se instalan ya el mismo día del montaje en helicóptero y se termina al segundo día.

El total de la obra de cimentación a acabados e instalaciones interiores se termina en 5 semanas.

Tratamiento de la madera para exterior con fuego

Una técnica ancestral que consiste en quemar la madera superficialmente para darle un tratamiento exterior de protección de los insectos y de la degradación de los UV. Hemos probado este sistema en una fachada ventilada con pino negro quemado y sin quemar para ver la evolución a lo largo del tiempo.
También en el laboratorio del fuego de la UPC hemos hecho pruebas del tiempo de ignición de las superficies de madera quemada, y resulta que la previa quema de la superficie amplia notablemente el tiempo de resistencia de la madera a iniciar la ignición frente a un foco de calor importante.
Este tratamiento, abre la puerta a proteger las superficies de madera natural para tener un menor aporte al fuego ya que parte de la materia combustible ya no está disponible.





Conclusión

La Madera es un material muy versátil con grandes potenciales aun para descubrir y a nivel estructural se puede construir casi todo lo que nos planteemos siendo conscientes de sus puntos débiles que son pocos, y sus ventajas ambientales que no tienen competidor.

Escenario efímero de caña común para Primavera Sound 2017, Barcelona

Joan Ramon Rosell[a y b], Albert Albareda[b], Jordi Maristany[b], Montserrat Bosch[a y b], Jon Cory Wright[c], Marc Fando[d], Iñigo Mujika[d]
[a] Laboratori de Materials, EPSEB-UPC, Barcelona; [b]Departament Tecnologia en l'Arquitectura UPC, EPSEB-ETSAB, Barcelona; [c]Canyaviva; [d] Volta/Investigació Canyera.
joan.ramon.rosell@upc.edu

Palabras clave: Caña común, estructuras efímeras, Transferencia de Tecnología

Resumen

El proyecto que presentamos es una estructura efímera, promovida por una empresa de gestión de eventos musicales, realizada en su totalidad a partir de haces de cañas atados. Para su realización se ha constituido un grupo de trabajo que ha participado en todo el proceso de diseño, recolección del material, ejecución, verificación estructural, control de calidad y control de ejecución. Queremos destacar en esta presentación, no sólo el valor arquitectónico del proyecto y su viabilidad sino la gestión de todas las partes implicadas, lo que ha supuesto que la Universidad ha colaborado desde sus distintas vertientes: la investigación aplicada, la docencia, y la transferencia de conocimiento.

1. Introducción

El pabellón para la realización de los conciertos del Primavera Sound 2017, ubicado en la Zona del Fórum en Barcelona, ha sido diseñado por el arquitecto Jonathan Cory-Wright del Grupo CanyaViva con las aportaciones del resto de intervinientes en el proyecto. Para alojar a un aforo previsto de 10.000 personas, cubre un espacio de más de 2000 m^2 y en su construcción se han utilizado alrededor de 12.000 cañas y más de 4 km de cuerda. Era condición de proyecto, además, que la estructura fuese desmontable para ser guardada y reutilizada al año siguiente para el mismo uso.

La técnica de construcción es propia del grupo CanyaViva y es accesible y respetuosa con el medio ambiente, ya que se utilizan únicamente materiales naturales y técnicas de trabajo totalmente manuales. CanyaViva (CanyaViva) tiene una larga experiencia en construcciones de este tipo, lo que permite comprobar que la caña es un material perfectamente aplicable en la construcción actual, y que, con una gestión del recurso coherente y controlada, es posible renunciar a los procesos de eliminación de la planta, altamente costosos y contaminantes.

2. Caña común e impacto ambiental

Las construcciones con caña (Arundo Donax) son bastante comunes: existe una valiosa tradición constructiva en toda la cuenca mediterránea y también se usa en países de oriente próximo o en Latinoamérica. Lamentablemente, desde hace años, este material lignocelulósico ha dejado de usarse en construcción y apenas se usa tampoco para otras actividades agrarias o relacionadas con la artesanía. Esto ha supuesto que la caña común suponga, actualmente, un auténtico problema ecológico en las riberas y humedales españoles, ya que se considera

invasiva. Diversas Administraciones Públicas, así como Universidades y centros de gestión Medioambiental, se encuentran investigando técnicas, mecanismos y procesos de control de los cañaverales con el fin de lograr la recuperación del buen estado ecológico de los sistemas fluviales. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, 2013).

Aunque en nuestro ámbito más cercano, la caña se ha usado para la ejecución de elementos secundarios en edificación, como construcción de tabiques o falsos techos, en momentos como el actual, en los que se está poniendo en valor el uso de materiales de menor impacto ambiental que los usados en la arquitectura y construcción convencional, parece interesante reconsiderar la caña como material de construcción, válido incluso para la ejecución de estructuras.



Fig. 1 Imágen general del escenario. Fuente pròpia

3. Escenario para Primavera Sound

3.1 Caracterización de la caña común Arundo Donax:

El Grupo de Investigación GICITED, de la Universitat Politècnica de Catalunya, lleva años organizando las Jornadas Low Tech (UPC, 2012), un lugar de encuentro para mostrar técnicas constructivas de bajo impacto ambiental y a partir de materiales de proximidad poco elaborados. En una de sus primeras ediciones el arquitecto Jonathan Cory-Wright presentó los trabajos del grupo CanyaViva, y se estableció una línea de colaboración con el Laboratori de Materials de la EPSEB para tratar de caracterizar la caña como material de construcción.

A partir de un Trabajo Final de Carrera, (Rosell, y otros), se estudió el comportamiento de la caña común como material de construcción, a partir de una campaña de ensayos con técnicas experimentales destructivas, realizadas en laboratorio.

La caracterización del material se realizó en base al ensayo de esfuerzos a compresión y a flexión y a tres tipos de análisis: el comportamiento del material simple, es decir una única caña; el conjunto de cañas agrupadas formando columnas; y el comportamiento estructural de un arco de caña construido específicamente para su ensayo.



Fig. 2 Imágenes de algunos de los ensayos que constituyeron la campaña experimental realizada en el Laboratori de Materials de la EPSEB-UPC

Los resultados de esta campaña de ensayos se han utilizado como los valores de referencia que han permitido la modelización inicial del pabellón.

En paralelo, un grupo en su momento de estudiantes de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB) pertenecientes a la Asociación *ESFA* (https://esfabcn.wordpress.com/) origen del Colectivo de arquitectura *Volta-Investigació Canyera* (Investigació Canyera), planteó una línea de trabajo orientada al comportamiento estructural de los arcos de haces de caña mediante el desarrollo de pruebas de carga "low-tech" evaluando los resultados obtenidos mediante procedimientos de fotogrametría 3D, (Rabindranath Andújar, 2013).

3.2 Verificación estructural

Para la verificación estructural se han realizado simulaciones a través de modelos estructurales en segundo orden para evaluar el comportamiento de la estructura sometida a cargas verticales y horizontales. Para poder calibrar adecuadamente estos modelos numéricos, se han llevado a cabo prototipos a escala real en el Campus del Llobregat de la UPC. La estructura se ha dimensionado y comprobado a partir de un modelo tridimensional realizado con Robot Autodesk©, versión educacional, lo que ha permitido realizar el análisis no lineal apropiado y necesario ante una estructura con grandes deformaciones y materiales de bajo módulo elástico. Y los valores finales utilizados para el cálculo, y posteriormente ajustados a través de los modelos reales, han sido, para las cañas: un módulo elástico de 400 MPa y resistencia a tracción característica de 16,80 MPa.

Todas las vinculaciones exteriores de los arcos estructurales con el terreno se han considerado articuladas en un porcentaje muy alto en todas direcciones para no sobrecargar la conexión de la base. Para la definición de las barras de cañas, de los arcos principales, se ha considerado una sección promedio de 18 cm de diámetro y una sección de las cuerdas de 1,5 cm.

La estructura se ha dimensionado siguiendo las especificaciones del CTE DB SE A referente a acciones en la edificación y a las combinaciones mínimas necesarias para una pérgola a primera línea de mar.

Con el fin de dar por definitivos los resultados del modelo numérico, se construyó un fragmento de la estructura a escala real 1:1 y el Colectivo de arquitectura Volta-Investigació Canyera llevó a cabo una serie de pruebas de carga verticales y laterales para confirmar que la deformación real se correspondía con la generada por el modelo a partir de los módulos elásticos considerados.



Fig. 3 Elemento arquitectónico, detalle del haz de cañas y del anclaje de la estructura al pavimento

La estructura cumple en general con los requerimientos habituales demandados por los marcos normativos españoles y europeos, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de una estructura temporal. Con todo, y como se ha mencionado antes, el aspecto más crítico para la validación de la estructura es, evidentemente, la estabilidad lateral del conjunto sometido a cargas de viento. Al tratarse de una estructura muy deformable y claramente de comportamiento no lineal debido a la propia naturaleza de las cañas, se ha considerado el "retensado" de las cuerdas que actúan como vientos durante el festival como mecanismo para minimizar al máximo las posibles "plastificaciones" debidas a las cargas cíclicas de viento.

La fijación de la estructura de cañas al pavimento se ha estudiado para no dañar las cañas mediante un empotramiento excesivo o no deseado. Puesto que no se podían extraer grandes superficies de pavimento se optó para utilizar 4 barras corrugadas de acero B500S de diámetro 20 mm, clavadas al hormigón con resinas epoxi en superficie. Las barras de acero han servido para encajar unos mástiles de madera de entre 60 y 100 cm y de 25 cm de diámetro, que han servido de fijación rígida para los haces de cañas, pero semirrígida con el pavimento gracias a la ductilidad de las barras corrugadas. Por otra parte, las cuerdas tensadas que actúan como vientos se han fijado a la sub-base de pavimento de hormigón existente con anclajes mecánicos tipo HILTI o similar, adecuados para resistir las tracciones propias procedentes del tensado de cuerdas.

3.3 Gestión del proyecto

Creemos que es interesante destacar el papel de la Universidad en todo este proceso. Ciertamente, los promotores de la construcción del pabellón tenían una extensa experiencia previa en la organización de eventos musicales multitudinarios. Hay que celebrar la apuesta

arriesgada de los responsables de la empresa promotora en construir un escenario "atípico" que escapaba de las habituales carpas prefabricadas de alquiler. La voluntad de realizar un escenario único, sostenible y que se integrase en el entorno cercano a la playa de Barcelona ha sido un vector trascendental para el éxito del proyecto. Con todo, la empresa promotora tenía ciertas prevenciones en cuanto a seguridad, plazos de entrega, y viabilidad del encargo y ante esta situación contactó con la UPC para incorporar expertos que asesorasen en la toma de decisiones.

Este proyecto ha sido posible por la implicación del equipo pluridisciplinar que ha participado en la toma de decisiones arquitectónicas y constructivas, el rediseño del sistema bajo distintas solicitudes de carga; la verificación estructural del proyecto; la co-gestión y la obtención de la materia prima mediante actividades paralelas (talleres de formación y de gestión sostenible del cañaveral existente en el Campus del Baix Llobregat de la propia UPC).

Conclusiones

Con esta experiencia hemos podido comprobar que la caña común es un material válido para construcción, incluso utilizada como elemento estructural siempre y cuando se tenga en cuenta que la caña común es un material con bajo valor de su módulo de elasticidad, lo que implica alta sensibilidad a los Estados Límite de Servicio (ELS) y en especial a las deformaciones producidas. La flexibilidad del material permite curvar "espectacularmente" las barras, lo que permite versatilidad en las formas y estructuras enormemente ligeras, pero se hace necesario trabajar con haces de cañas, ya que incrementa poderosamente las prestaciones del material

Un cálculo riguroso sólo puede realizarse con programas y métodos específicos que puedan considerar "grandes" deformaciones de las barras. Y en estructuras tan ligeras y flexibles es imprescindible usar elementos de atirantado.

El sistema constructivo se ha mostrado idóneo y ha ofrecido un comportamiento muy adecuado a las condiciones ambientales, mejor incluso que otros escenarios del propio evento.

Referencias

CanyaViva [En línea]. - www.canyaviva.com.

Investigació Canyera [En línea]. - http://investigaciocanyera.blogspot.com/.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente Catálogo español de especies exóticas. Arundo Dónax [Informe]. - Madrid : Gobierno de España, 2013.

Rabindranath Andújar Marc Fando Morell, Oriol Palou Julián, Bruno Peris Renngli, Jordi Maristany Carreras Estudi del comportament mecànic d'arcs de canya Arundo Donax [Publicación periódica]. - Barcelona : Associació de Consultors d'Estructures (ACE), 2013. - 46.

Rosell J.R. y Silva E. González, S Arundo Donax: material de construcción [En línea] // UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC. - Universitat Politècnica de Catalunya. - 8 de junio de 2017. - file:///C:/Users/montserrat%20bosch/Downloads/Arundo%20donax%20L.%20Material%20de%20construcci%C3%B3n%20(2).pdf.

UPC Jornades Low Tech [En línea]. - 2012. - 6 de marzo de 2016. - https://jornadeslowtech.wordpress.com/.

Revisión sobre las aplicaciones y potencial de la Totora como material en la construcción sostenible.

J. F. Hidalgo-Cordero [a], J. García-Navarro [b]
[a] Arquitecto Doctorando UPM, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIAAB. Av. Puerta Hierro, 2-4. 28040 Madrid;
[b] Dr. Arquitecto, Profesor Titular de Universidad, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIAAB. Av. Puerta Hierro, 2-4. 28040 Madrid.
juanfernando.hidalgo.cordero@alumnos.upm.es.

Palabras clave: totora, construcción con fibras naturales, fibras no maderables, construcción sostenible, materiales tradicionales

La totora (*Shoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják*) es un junco que crece en lagos y humedales en varios lugares de América y en algunas islas del Pacífico. Crece desde el nivel del mar hasta los 4500msnm y puede desarrollarse en agua dulce y zonas de estuarios, por lo que tiene un amplio potencial de distribución geográfica. Su abundancia, propiedades, y versatilidad han favorecido a que esta planta sea utilizada por varias culturas a lo largo de la historia como alimento, forraje, material para confección de esteras, artesanías, construcción de balsas y cabañas. El mayor ejemplo de uso de la totora a nivel mundial son las Islas de los Uros del Lago Titicaca, quienes han desarrollado su modo de vida y sistemas constructivos basados casi exclusivamente en la totora. La totora es una fibra de rápido crecimiento que en ambientes favorables puede producir hasta 56 t/ha de materia seca al año, 4 veces más que un bosque de coníferas. Adicionalmente, las raíces de la totora son capaces de remover contaminantes del agua, mejorando la calidad del agua de los humedales y lagos en donde crece. Estudios sobre su alto contenido de celulosa de más del 60% sugieren también su posibilidad de reciclaje. Además, estudios recientes sobre la totora con respecto al campo de la arquitectura, construcción de embarcaciones experimentales y proyectos de diseño industrial han demostrado las propiedades y bondades de esta planta, así como los potenciales beneficios de su utilización en la industria de la construcción contemporánea dentro del marco de la sostenibilidad y el concepto de la economía circular. En este contexto se realiza una revisión sobre esta fibra con énfasis en los potenciales beneficios de su ciclo productivo.

Introducción.

Dentro de las diferentes categorías de los materiales de construcción, los productos forestales han demostrado tener un buen comportamiento en cuanto al consumo de energía, el balance de emisiones de CO_2eq global, y la cantidad de opciones de reciclaje o disposición final en su ciclo de vida en comparación con otros materiales como el cemento o el acero [1]. Sin embargo, dentro de este contexto es necesario

emplear una visión holística para evitar abstracciones que puedan minimizar la verdadera dimensión de un tema de estudio y evaluar los impactos que se pueden generar desde la visión de la sostenibilidad [2]. Estudios indican que se prevé que la demanda de productos maderables se triplique hasta el 2050, por lo que es conveniente pensar en opciones más eficientes para la provisión de materiales ligno-celulósicos dirigidas a reducir la presión sobre la tierra y los bosques maderables [3]. Entre los productos forestales que pueden generar un aporte significativo en este sentido se encuentran los productos forestales no maderables como el ratán, mimbre, juncos, bambú, etc. Si bien el aprovechamiento de este tipo de plantas puede resultar de interés desde el punto de vista de la sostenibilidad, es necesario conocer y diferenciar cada caso para poder evitar los efectos adversos de una explotación no adecuada y definir las estrategias pertinentes para su aprovechamiento [4]. En este contexto se plantea una revisión sobre la Totora (*Shoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják*), que es un junco que ha sido utilizado principalmente en América desde tiempos ancestrales demostrando su gran variedad de aplicaciones, sostenibilidad de su ciclo productivo en el tiempo y beneficios que pueden aprovecharse para el desarrollo de sistemas productivos sostenibles en el contexto contemporáneo.

Características generales de la Totora.

Totora es el nombre con el que se conoce en Sudamérica a un junco de la familia *Cyperaceae* de la especie *Shoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják*, (Fig. 1). Diversos estudios identifican a la totora con diferentes nombres científicos como por ejemplo *Schoenoplectus Tatora (Kunth) Palla*, o *Scirpus californicus (C.A.Mey.) Steud.*; sin embargo, según la World Checklist of Selected Plant Families estos nombres son considerados sinónimos de la *Schoenoplectus Californicus (C.A.Mey.) Soják* que a la fecha de este reporte es el nombre científico aceptado en su base de datos. En ocasiones se usa también el término totora para referirse a los juncos de la especie *Schoenoplectus lacustris (L.) Palla* y algunas de las especies *Typha* (Fig. 2). La diferencia principal entre las *Typha* y la *Schoenoplectus Californicus (C.A.Mey.) Soják,* más allá de sus diferencias biológicas intrínsecas, radica en que la parte útil de las *Schoenoplectus* es el tallo y en las *Typha* son las hojas, que se diferencian en la forma de sus secciones, el tamaño y la resistencia. En California y México se utiliza el término “tule” para referirse a *Schoenoplectus Californicus (C.A.Mey.) Soják* y especies similares [5], [6]. En este documento el término totora se usará para referirse a *Schoenoplectus Californicus (C.A.Mey.) Soják.*



Figura 1. Sección de tallo de Schoenoplectus Californicus (C.A.Mey.) Soják



Figura 2. Sección de hoja de Typha Latifolia L.

La totora es una planta de raíz acuática que crece en lagos y humedales, su distribución se da principalmente en el continente americano, desde la zona de California hasta Chile. Se la encuentra también en Hawái, Islas Cook, La Isla de Pascua y Nueva Zelanda [7]. Crece desde el nivel del mar hasta los 4500 msnm. Puede crecer en humedales de agua dulce y zonas de estuarios y tiene buena resistencia a los cambios de nivel del agua y sequías. Debido a su corto tiempo de renovación puede ser cosechada hasta dos veces al año en ciertas zonas climáticas. Su abundancia, su corto tiempo de renovación y fácil obtención estimularon el desarrollo de varias técnicas y modos de aplicación de este material por parte de varias culturas ancestrales. Muchos de esos usos tradicionales se conservan hasta hoy y pueden ser vistos en varios lugares de América. Sin embargo, en las Islas de los Uros del Lago Titicaca se encuentra el mayor ejemplo de la utilización de la totora a nivel mundial propiciado por el aislamiento intencional de estas comunidades desde hace más de 500 años para quienes la totora era prácticamente el único material disponible en medio del lago. Esta situación particular llevó a los Uros a sacar el máximo provecho de esta planta que aún es utilizada como alimento, forraje, medicina, material para confección de objetos utilitarios, artesanías, cabañas, balsas y las islas flotantes en sí [5], [8].

Según los estudios sobre los datos de producción de materia seca por hectárea por año de la totora, ésta varía según diferentes condiciones y cantidad de nutrientes del estrato, pudiendo llegar a ser del orden de 56 t/ha/año [7]. Considerando que los datos de la producción máxima de materia seca por hectárea por año de plantaciones de maderas de rápido crecimiento como por ejemplo Pino Radiata es de cerca de 16 t/ha/año [9]; la totora resulta un material de interés en cuanto a su capacidad de producción.

Adicionalmente, estudios demuestran que la totora tiene una buena capacidad de remoción de contaminantes del agua, por lo que se emplea en plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales [10]. Esto indica que una plantación de totora podría funcionar dentro de una cadena productiva actuando como fuente de materia prima, sumidero de CO_2 y tratamiento de aguas residuales simultáneamente.

Adicionalmente, se han realizado varios estudios sobre la utilización de las fibras de totora para la elaboración de papel con resultados favorables debido que tiene un contenido de celulosa superior al 60% [11]. Característica que puede aprovecharse en procesos de reciclaje para incorporar la totora en los ciclos productivos con conceptos de economía circular y la optimización de recursos.

Aplicación de la totora en la construcción de embarcaciones experimentales.

A raíz de las expediciones de Thor Heyerdahl, concretamente sus expediciones RaI y RaII de 1969 y 1970 respectivamente, se han realizado una serie de experimentos de travesías transoceánicas utilizando embarcaciones de totora de gran tamaño construidas con totora utilizando las técnicas tradicionales de construcción de balsas de las poblaciones del lago Titicaca. Los más de 10 viajes de este tipo realizados hasta la fecha son una muestra de la gran resistencia que puede adquirir el material al estar

enrollado usando las técnicas de construcción de balsas tradicionales de totora [12], [13].

Estudios de interés sobre la totora en el campo de la arquitectura y el diseño.
El trabajo de investigación desarrollado por Juan Hidalgo consiste en el desarrollo de diversas técnicas de innovación aplicadas a los procesos productivos convencionales de la totora, cuyos resultados demuestran la versatilidad y potencial de esta fibra como material para la industria contemporánea [14].

El "Proyecto Totora", consistió en el diseño y construcción de una serie de estructuras utilizando rollos de totora como elemento estructural, lo que demostró su resistencia, versatilidad y variedad opciones de aplicación en este sentido [15].

Sobre la capacidad aislante de la totora se han realizado diversos estudios y experimentos, llegando a determinar valores del orden de 0,083W/mK de conductividad térmica de la esterilla tradicional de totora, por lo que se la ha propuesto como aislante térmico en construcciones de las zonas alto-andinas del Perú [16], [17]. Sobre este tema, el estudio realizado por Leyda Aza, "La Totora Como Material De Aislamiento Térmico", trata sobre la utilización de la totora para la producción de paneles de aislamiento térmico utilizando procesos productivos más elaborados investigando los efectos de la utilización de totora entera o triturada, y aglomerada con gomas naturales. En este estudio se obtuvieron valores de conductividad del orden de 0.055 W/mK, así como valores de interés con respecto a la resistencia al fuego y al vapor [18].

Conclusiones.
1. Con respecto a la etapa inicial del ciclo productivo de la totora se ha mencionado que la totora es una fibra de rápido crecimiento, que produce alrededor de 4 veces más material que una plantación maderera, su distribución cubre un amplio rango de zonas climáticas desde el nivel del mar hasta los 4500msnm, puede cosecharse hasta dos veces al año y mejora la calidad del agua en donde crece, lo que representa beneficios de interés en cuanto al medio ambiente y distribución de recursos.
2. En cuanto a sus posibilidades de explotación se ha visto que la totora ha sido utilizada de manera tradicional a lo largo del tiempo como alimento, forraje, medicina y material de construcción, lo que indica que manejada correctamente, es un producto que tiene múltiples posibilidades de generar recursos e ingresos dentro del sistema productivo, así como los beneficios sociales y económicos para las comunidades que conocen y trabajan con el material, con los beneficios asociados a la fijación de las poblaciones rurales y conservación de saberes ancestrales.
3. Los valores de aislamiento térmico, versatilidad y la capacidad de la totora de alcanzar resistencias considerables mediante procesos sencillos como el caso de las embarcaciones, es un indicador de su potencial utilidad en el campo de la construcción en donde se pueden generar beneficios económicos y ambientales de interés para este sector industrial.

4. Finalmente, el contenido de celulosa de la totora de más del 60% sugiere que los productos generados con este material son susceptibles de ser reciclados y reincorporados en ciclos productivos de materiales celulósicos lo que está en línea con los conceptos de la economía circular y los beneficios ambientales que esto representa.

Referencias

[1] WWF, "WWF Living Forests Report: Chapter 4, Forests and Wood Products.," *Living Forests Report 2012*, pp. 1–40, 2012.
[2] J. García-Navarro, M. Gonzáles, A. de Isla, M. Macías, H. Martínez, O. Nieto, B. Rivela, J. Tenorio, and A. Teso, *Sostenibilidad en la Construcción*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 2013.
[3] IPCCC, *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
[4] FAO, "2015 Global Forest Products Facts and Figures," Rome, 2016.
[5] C. Heiser, "The Totora (Scirpus Californicus) in Ecuador and Peru," *Economic Botany*, vol. 32, no. 3, pp. 222–236, Jul. 1978.
[6] M. C. Mardorf, "Artesanía y ecología de la totora (Scirpus sp.) en la provincia de Imbabura, Ecuador," *Sarance. Revista del Instituto Otavaleño de Antropología*, vol. 10, no. 10, pp. 11–78, 1985.
[7] P. J. de Lange, R. O. Gardner, P. D. Champion, and C. C. Tanner, "Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) in New Zealand," *New Zealand Journal of Botany*, vol. 36, no. 3, pp. 319–327, Sep. 1998.
[8] M. J. Macía and H. Balslev, "Use and management of Totora (Schoenoplectus Californicus, Cyperaceae) in Ecuador," *Economic Botany*, vol. 54, no. 1, pp. 82–89, Jan. 2000.
[9] FAO, "Global planted forests thematic study Results and analysis," Rome, 2006.
[10] PELT, "Evaluación de la Totora en el Perú Estudio 21.02," Puno, 2000.
[11] A. Simbaña, "HACIA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA TOTORA (Schoenoplectus californicus), EN EL IMBAKUCHA PROVINCIA DE IMBABURA," PUCE-SI, 2003.
[12] T. Heyerdahl, *The Ra Expeditions*. Garden City, New York: Doubleday, 1971.
[13] X. J. Rondón, S. A. Banack, and W. Diaz-Huamanchumo, "Ethnobotanical Investigation of Caballitos (Schoenoplectus Californicus: Cyperaceae) in Huanchaco, Peru," *Economic Botany*, vol. 57, no. 1, pp. 35–47, Jan. 2003.
[14] J. F. Hidalgo-Cordero, "Totora, material de construcción," Universidad de Cuenca, 2007.
[15] PUCP and SAdBK, "Totora Project | Peru: exploring three current realities," 2010. [Online]. Available: https://peruexploring.wordpress.com/totora-poject-_panels/. [Accessed: 15-Mar-2017].
[16] L. Ninaquispe, S. Weeks, and P. Huelman, "Totora: A Sustainable Insulation Material for the Andean Parts of Peru," *PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*, no. November, 2012.
[17] GIZ and MCVX, *Abrigando Hogares, Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales altoandinas*. Lima: MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2016.
[18] L. C. Aza Medina, "La Totora Como Material De Aislamiento Térmico : Propiedades Y Potencialidades," Universidad Politecnica de Catalunya, 2016.

Desarrollo de materiales aislantes térmicos basados en subproductos agrícolas para la mejora del confort térmico en Burkina Faso

J. Carranco[a], M. Palumbo[b], A.M. Lacasta[a]
[a]Universitat Politècnica de Catalunya, Escuela Politécnica Superior de la Edificación de Barcelona, Av. Doctor Marañon 44, 08028 Barcelona, España; [b]Dept. De Engenharia Civil, Universidad Federal Fluminense, R. Passo da Pátria 156, Niteroi, RJ, Brasil
ppmosh@gmail.com

Palabras clave: Aislantes térmicos naturales, cáscaras de cacahuete, cañas de sorgo, conductividad térmica, reacción al fuego

Resumen

El objetivo de la presente investigación es contribuir a explorar estrategias alternativas para la mejora de las condiciones de vida en Burkina Faso, buscando a la vez una valorización de los residuos orgánicos generados por la industria agroalimentaria en el país. Para ello se han desarrollado diferentes tipos de aislantes térmicos basados en subproductos agrícolas: cáscara de cacahuete y caña de sorgo. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos referentes a la conductividad térmica y el comportamiento frente al fuego.

1. Introducción

Las actuales condiciones de vida en Burkina Faso son difíciles para la mayoría de la población en los asentamientos suburbanos, donde se concentra la mayor parte de ésta. La mayoría de las edificaciones de vivienda unifamiliar se construyen sobre muros de bloques de cemento y tejados metálicos que, teniendo en cuenta las condiciones climáticas típicas de la región, representan una gran desventaja en términos de confort térmico.

El uso de materiales aislantes térmicos basados en materiales renovables y disponibles localmente puede contribuir a la reducción del impacto ambiental en el sector de la construcción (1). Este enfoque puede ser particularmente relevante en los países en vías de desarrollo, donde los subproductos agrícolas suelen estar ampliamente disponibles (2).

En este trabajo se han utilizado dos subproductos agrícolas: cáscaras de cacahuete y cañas de sorgo (3). Las cáscaras de cacahuete se trituraron y tamizaron para dar fracciones de partículas de 2, 1, 0,5 y <0,5 mm. En el caso de las cañas del sorgo, se procedió en primer lugar a separar la médula interior de la corteza. El material fue posteriormente triturado y tamizado para clasificarlo en diferentes tamaños de partícula, los mismos que para la cáscara de cacahuete.

Para las formulaciones realizadas en el presente proyecto, se utilizaron diferentes aglutinantes, tanto de origen orgánico como inorgánico:

- Cola de pez, que se produce a partir de la piel, espinas, cartílagos y vejigas de natación de diversos tipos de peces.
- Cola de huesos, también conocida como cola fuerte, que se produce principalmente de cuernos y pezuñas de ganado.
- Extracto de Néré, que obtuvimos a partir de las vainas Néré trituradas. Este extracto se compone principalmente de taninos (4) con capacidad aglutinante. La extracción se realizó inicialmente de forma artesanal, pero a medida que avanzó la investigación, se refinó el proceso y se logró hacer la extracción de manera controlada con equipos de laboratorio.
- Tierra procedente de una parcela próxima a la ciudad de Ouagadougou, en Burkina Faso, que nos fue proporcionada por la Asoociación Laafi España.
- Cal aérea, clasificada como CL-90 según norma UNE-EN 459/1.

2. Formulaciones y procedimientos experimentales

Durante el proceso experimental, se consideraron diferentes formulaciones donde se mezclaron las cáscaras de cacahuete y las cañas de sorgo con las diferentes matrices descritas (3). Una vez realizados los especímenes pertenecientes a cada una de las formulaciones, se estableció un sistema de puntuación de tres puntos para evaluar la cohesión:

1 - Mala cohesión, la muestra se rompe fácilmente

2 - Coherencia media, la muestra permanece cohesionada, pero es débil y/o se desintegra superficialmente al contacto y manipulación.

3 - Buena cohesión, la muestra permanece cohesionada, no se desintegra y tiene un aspecto más sólido.

Sólo las formulaciones con buena cohesión se consideraron aceptables

Una vez seleccionadas las formulaciones con mejor cohesión, se realizó una campaña experimental de ensayos de laboratorio para determinar las principales propiedades físicas de cada una.

Propiedades térmicas. La conductividad térmica *(*λ) de las muestras se determinó con un analizador electrónico de propiedades térmicas Quickline-30 (basado en la norma ASTM D5930) utilizando una sonda de superficie. Antes de la prueba, los especímenes se secaron durante 48 horas en una estufa a 40^{o}C y después se dejaron enfriar en condiciones ambientales durante aproximadamente 30 minutos para que se estabilicen.

Calor de combustión. Se determinó el calor liberado en los procesos de combustión utilizando un microcalorímetro de pirolisis (PCFC). En este tipo de equipo la muestra, de pequeñas dimensiones, se calienta en una atmósfera inerte a una velocidad constante. Los gases resultantes de la pirólisis se mezclan progresivamente con una corriente de oxígeno y se queman completamente en el horno de combustión. A partir del consumo de oxígeno se determinan las curvas de velocidad de liberación de calor medida (HRR). Se analizaron tanto los subproductos como los aglutinantes.

***Reacción al fuego*.** Se evaluó la reacción al fuego mediante el equipo descrito en la Norma UNE 23.725-90, consistente en un radiador horizontal 500 W que se va sucesivamente aplicando sobre la probeta y retirando tras cada ignición. Se determina el tiempo al que se produce la primera ignición (t_i), el número de igniciones durante 5 minutos de ensayo (Ni) y la duración media de la llama una vez retirado el radiador (Δt). Un mejor comportamiento de fuego corresponde a ti más largo, menor Ni y menores valores de Δt.

3. Resultados

Para un mismo tipo de aglutinante, se ha obtenido que las muestras formuladas con médula de sorgo presentan una menor conductividad térmica que las de cáscaras de cacahuete. La Figura 1 muestra la conductividad térmica de cada caso en función de su densidad, determinada en base a su peso y dimensiones Se observa que, en general, la conductividad térmica es mayor para una mayor densidad de las muestras.

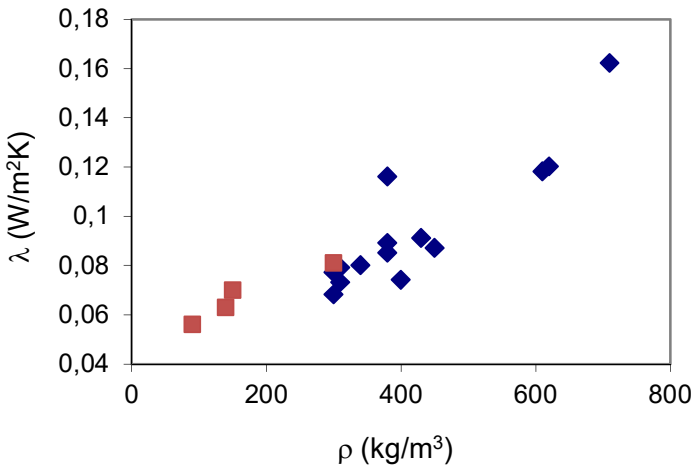


*Figura 1. Conductividad térmica en función de la densidad. Los cuadrados naranja corresponden a formulaciones con caña de sorgo y los diamantes azules a cáscara de cacahuete*l.

Las curvas obtenidas con microcalorímetro PCFC para el cacahuete y la médula de sorgo (Figura 2) presentan la forma característica de los materiales lignocelulósicos, con un pico principal alrededor de 320-350ºC, que está relacionado con celulosa y hemicelulosas (5). Sin embargo, el máximo del pico es menor para la médula de sorgo. La liberación total de calor es de 23,7 kJ / g para las cáscaras de cacahuete y de 11,0 kJ / g para la médula de sorgo. Por lo tanto, en caso de incendio, los materiales a base de sorgo tendrían una contribución menor, liberando menos energía durante su combustión. Respecto a los aglutinantes orgánicos (Figura 3), las gomas de huesos y de pez mostraron un comportamiento muy similar, mientras que el comportamiento del extracto de néré fue claramente mejor.

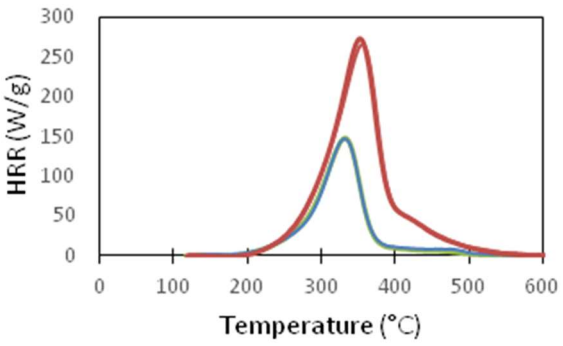


Figura 2. Curvas de liberación de calor obtenidas para la cáscara de cacahuete (línea roja) y la caña de sorgo (verde)

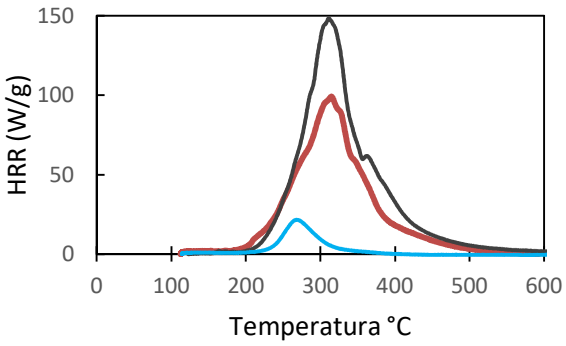


Figura 3. Curvas de liberación de calor obtenidas para la cola de huesos (negra), cola de pez (roja) y extracto de néré (azul).

Respecto al ensayo de reacción al fuego, en general, todos los especímenes ensayados mostraron un comportamiento relativamente bueno ya que, aunque la ignición se produjo en todos los casos (con la excepción de un espécimen realizado con cáscara de cacahuete y cal, que no llegó a hacer ignición), se observó que la llama se extingue rápidamente tan pronto como se retira el radiador.

En las muestras formuladas con cáscara de cacahuete, se observaron diferencias significativas dependiendo del tipo de aglutinante, tamaño del agregado y densidad. En general, se observó que, para un mismo tamaño de partícula, las muestras con mayor densidad tienen un mejor comportamiento: ti superior y Δt inferior. Para una densidad similar, los tamaños de partícula más grandes son los Δt inferiores. Las muestras hechas con cola de hueso tienen un comportamiento similar al de la cola de pez, mientras que para las fabricadas con extracto de néré, cal y tierra, se observa una mejora significativa.

Las muestras elaboradas con sorgo presentaron menos número de igniciones y, en promedio, fueron de menor duración que las observadas para las muestras hechas con cáscara de cacahuete. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos con la técnica PCFC.

4. Conclusiones

Se han desarrollado diferentes aislantes térmicos basados en cáscara de cacahuete y caña de sorgo, con distintos aglutinantes, orgánicos e inorgánicos. Para la mayoría de las formulaciones, se han obtenido valores de conductividad térmica por debajo de 0,1 W / mK. La conductividad térmica de las muestras fue más dependiente de la densidad que en cualquier otra variable analizada. Los especímenes a base de caña de sorgo, que tienen una menor densidad que la cáscara de cacahuete, también presentaron una conductividad térmica más baja.

En cuanto a la reacción al fuego, el sorgo mostró mejor comportamiento que la cáscara de cacahuete, tanto en los ensayos de microcalorímetro como en el ensayo del radiador. Por otro lado, el extracto de néré fue el aglutinante orgánico que presentó mejores propiedades en el ensayo del microcalorímetro.

El uso del extracto de néré como aglutinante produce resultados prometedores, en particular cuando se combina con cáscaras de cacahuete, lo que indica que deben realizarse más investigaciones para optimizar aún más la formulación de un adhesivo basado en néré.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Fundación Laafi España, representada por el arquitecto Albert Faus, cuyo interés y compromiso con Burkina Faso ha hecho posible esta investigación. También agradecemos a MINECO por su soporte a través del proyecto BIA2014-52688-R.

Referencias

(1) Palumbo M. Contribution to the development of new bio-based thermal insulation materials made from vegetal pith and natural binders: hygrothermal performance, fire reaction and mould growth resistance, **2015.** Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya.

(2) Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustainable Materials and Technologies, **2015** 4, 1-17.

(3) Carranco J.M. Desarrollo de materiales aislantes para la mejora del confort térmico de viviendas en Burkina Faso basados en residuos agrícolas, **2017**. Projecto Final de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya.

(4) Sorgho, B., Zerbo, L., Keita, I., Dembele, C., Plea, M., Sol, V., Blanchart, P. Strength and creep behavior of geomaterials for building with tannin addition. Materials and structures **2014** 47(6), 937-946.

(5) Palumbo M., Formosa J., Lacasta A.M. Thermal degradation and fire behaviour of thermal insulation materials based on food crop by-products. Constr Build Mater **2015** 79 34–39.

Construcción en madera contralaminada. Edificio plurifamiliar de seis plantas en Lleida

Autor Ponente: Ramon Llobera i Serentill
Arquitecto TRASS Arquitectura
Canonge Brugulat 21 altell B -25003 Lleida
ramonllobera@coac.net

Palabras clave: Edificio madera contralaminada 6 plantas

Resumen

La madera, para ser utilizada como material de nuestras estructuras, tiene unas características que nos favorecen, pero, otras características que son aparentemente un problema. Estudiando como minimizar estos problemas y aprovechando sus mejores características, se ha llegado a desarrollar un producto que es la madera contra-laminada (CLT). Además, el panel nos introduce en un mundo de la prefabricación.

El material

La madera contra-laminada, llamada CLT (Cross Laminated Timber), El CLT se compone de láminas o capas de madera de abeto rojo (en este caso). Normalmente son un número impar de capas, (3, 5, 7 y hasta 9) colocadas cruzadas, encoladas y tratadas a presión hasta conseguir que trabajen unidas como una sola pieza. Los gruesos de estas capas van desde 19 hasta 44 mm, secadas previamente hasta conseguir un grado de humedad del 12 % con pequeñas variaciones.



En el encolado se utiliza un adhesivo líquido mono-componente de poliuretano, sin disolventes ni metanol y se endurece con la humedad de la propia madera. Este adhesivo de la madera utilizada en esta obra (de la casa KLH, austríaca) no desprende formaldehidos.
Este producto dispone de un DITE y dispone del Marcado CEE.
Este producto se puede entregar con tres tipos de calidades;
la vista doméstica, la vista industrial i la no vista.
Estas placas se fabrican en dimensiones hasta 16,5 m. Esto hace que podamos adaptar a nuestro proyecto, la utilización de este material con las ventajas de un material

prefabricado y cortado con toda precisión en taller (con máquinas de control numérico), con minimización de los accidentes laborales y una puesta en obra fácil i rápida.

Elementos del sistema constructivo

En este edificio los elementos que se han utilizado para definir la estructura son los techos de 5 ó 7 capas de gruesos entre 117 mm y 164 mm, paredes o muros de entre 60 y 95 mm, y los elementos de conexión, montaje y transmisión de esfuerzos como son las escuadras, los tirafondos, los pernos y los pasadores. El cálculo de la estructura ya especifica un protocolo de herrajes para cada caso y cada situación, y como control de obra, se pasa lo que se llama la prueba del "par de apriete" de toda la tornillería empleada.

El material, tal y como hemos explicado, nos permite la utilización de la madera CLT en los dos elementos estructurales principales de este proyecto, los muros de carga y los techos.

Características del sistema

Las placas de techo y muros de carga trabajan conjuntamente de manera que estos elementos quedan atados mediante elementos metálicos, que garanticen las prestaciones de monolitismo y encadenado de la estructura. De hecho, el concepto estructural es el de muros de carga que actúan como a diafragmas unidos con los elementos horizontales con escuadras y tornillería.



Los esfuerzos horizontales de viento principalmente tienen la ayuda de la caja del ascensor para transmitir los esfuerzos verticalmente. Una de les principales características de este sistema constructivo global en altura es su comportamiento sísmico delante de los empujes dinámicos.

• El proyecto cavallers 57

Inicialmente este proyecto tenía que construirse conjuntamente con el edificio que estaba en el solar de su lado. Propusimos compartir el acceso al aparcamiento y hacer

un pequeño “district-heating”, la producción de la energía con una caldera de biomasa centralizada, y la distribución y el consumo individualizados. Y la posibilidad de utilizar un mismo sistema constructivo prefabricado y con un material sostenible como la madera contra-laminada.

Finalmente, el otro edificio no se realizó y el promotor decidió seguir adelante. Hemos de tener en cuenta que, a partir de 2006, el Código Técnico permite la incorporación de a madera como material estructural, que hasta entonces se regulaba por el Euro código 5 y que cualquier aseguradora ponía problemas para asegurar.
Sin precedentes ni de diseño ni de construcción en este sistema en altura, el asesoramiento de la casa austríaca KLH fue definitivo

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Muros de hormigón

Arrancamos de una planta semisótano con muros de contención de hormigón armado y construir la plataforma de arranque de planta baja para desde allí comenzar la estructura de muros y techos de CLT. Todos los muros de panel contra-laminado de la planta baja y las medianeras ventiladas que arrancan de la base de hormigón, están protegidas con un agente biocida y repelente de la humedad.

Caja del ascensor como arriostramiento vertical

Los esfuerzos horizontales de viento habían de estar contrarrestados por elementos verticales que arriostrasen las diferentes plantas y en este caso utilizamos la caja del ascensor como gran pilar estructural para hacer esta función. Se montó en el suelo toda la caja del ascensor de 13 m. de altura se subió para situarla verticalmente en el centro de la planta.





Comportamiento acústico de la caja del ascensor i bandas elásticas fonoabsorbentes

Per evitar que la maquinaria del ascensor pudiese transmitir ruidos y vibraciones a la estructura, y por tanto al resto de las estancias, se construyeron dos cajas de ascensor, una exterior que nos servía de arriostramiento estructural y otra interior, que sujetaba el ascensor y su maquinaria. Estas dos cajas están separadas por bandas absorbentes acústicas que evitan el paso del sonido de una a otra caja.
En toda la estructura, se dispusieron también de bandas elásticas fonoabsorbentes de cacho EPDM, en el arranque de los muros y entre paneles horizontales y verticales.



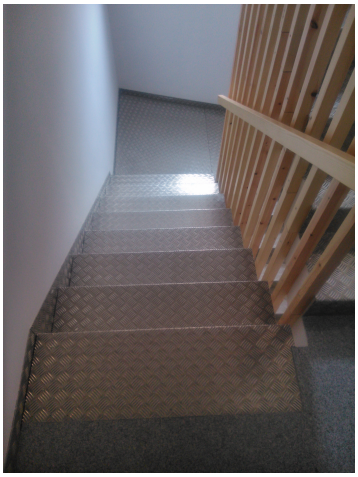
Tiempo de montaje

A una media de una planta por semana en lo que era la estructura básica de muros y techos de manera que se llegó al bajo cubierta en poco mas de cinco semanas. Las fachadas en solamente tres días, con unos paneles verticales de unas dimensiones de hasta 11 metres. Se hizo el atornillado y repaso de los refuerzos en cuatro días mas y la construcción de las escaleras interiores de madera en una semana.



Revestimientos interiores
El sistema constructivo prefabricado del contra-laminado en seco llevaba a que todos los otros elementos de revestimiento también fueran en seco, a base de superposición de capas.
En el pavimento, encima del CLT situamos una capa de lana de roca de alta densidad para evitar la transmisión acústica por impacto hacia el piso inferior.
Se ponen los tubos del suelo radiante y el mortero de cemento seco que hace de acumulador del calor.
Respecto al revestimiento de los paramentos verticales, se pone encima del panel de madera un trasdosado, con guías que rellenamos con una capa de lana de roca y por el que pasan las instalaciones con un acabado de placa de cartón-yeso.





Revestimientos exteriores (SATE)
Hemos aplicado en este proyecto un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) para evitar puentes térmicos a base de un panel aislante de 6 cm de EPS adherido y clavado sobre la base del contra-laminado al que se le aplica un revestimiento de un mortero monocapa mineral transpirable.
Por otro lado, el cerramiento exterior se completa con la carpintería de altas prestaciones de madera maciza colocada en el centro del cerramiento y que permite que el encuentro entre carpintería y la estructura se haga de madera a madera.

Acabados interiores

Se ha dejado la madera vista en techos de las salas y las habitaciones de las viviendas, así como en el vestíbulo principal de acceso en planta baja, del techo de planta baja y del techo inclinado del bajo-cubierta.





Iluminación

En los techos planos de las salas se ha ubicado luz indirecta como recurso decorativo y también como estrategia para no agujerear los techos de madera vistos.
En las escaleras, al ser elementos de mas tránsito y para diferenciarlas de las interiores se ha puesto una chapa de acero inoxidable con llana de roca a manera de amortiguador acústico bajo el pavimento para minimizar el ruido de impacto.
En cambio, en la escalera de subida interior dentro del dúplex se ha dejado un acabado visto de madera en el peldañeado.

OTRAS VENTAJAS DEL SISTEMA

Transporte

Tota la estructura de la obra que representan unos 2100 m2 de panel de madera contra-laminada y unos 235 m3 de madera. Se han traído des de la fábrica de KLH de Austria en 4 “trailers” de 13,5 metros después de un proceso minucioso de despiece de todos los paneles de la obra para poder optimizar su ubicación en los camiones.

OTROS TRABAJOS. Una vez montados los techos y los muros de una planta, ya se podría entrar a trabajar bajo este elemento estructural al no haber ni puntales ni problemas de caída de agua. Esto acelera la entrada de los demás industriales en la obra con el consecuente ahorro de tiempo.
Se reducen los términos de ejecución de una obra solo por su rapidez de montaje en más de dos meses respecto a una obra tradicional con techos de hormigón.

Ausencia de residuos

Al venir todos los elementos perfectamente dimensionados y cortados de fábrica, los residuos que ha generado esta estructura han sido prácticamente inexistentes. Ni elementos de encofrado, (tableros, clavos) ni restos del panel estructural, ni elementos auxiliares de montaje, ni residuos de embalajes.

OTRAS CARACTERISTICAS A TENER EN CUENTA

Comportamiento al fuego

La capa exterior se carboniza a 0,64 mm/min y las interiores a 0,76 mm/min, teniendo en cuenta que si dejamos vista mes de una cara hay que considerar la carbonización por las dos caras. Otra estrategia para luchar contra el fuego es la protección con otros materiales ignífugos como lanas minerales o placas de cartón-yeso anti-fuego y utilizarla solamente como material estructural no visto.

Comportamiento acústico

La falta de masa de la madera habrá que suplementarla, ya sean a través de la estructura o de ruido aéreo. Por tanto, se ha puesto especial cuidado a parte del tema del ascensor en las transmisiones de los tubos de bajantes en su contacto con la estructura de madera y en el detalle de la pisada de las escaleras en las que se ha introducido lana de roca de alta densidad para evitar que el impacto de las pisadas pase a los muros estructurales de la caja de escalera.





CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

Huella ecológica i energía

Finalmente vamos a ver cual es la huella ecológica. Pero la madera al ser proveniente de los árboles que hacen el proceso inverso al absorber CO2 para producir oxígeno por la fotosíntesis revierte el proceso y en lugar de consumir CO2, lo absorbe.
Partiendo del peso de la madera y su volumen, calculamos cuanto CO2 captura la madera de este edificio. Cada kg de madera absorbe 1,82 Kg de CO2. El volumen de contralaminado que hemos utilizado en todo el edificio es 235 m3. Esto son 129,2 toneladas de madera. El edificio ha capturado 235 Toneladas de CO2.

El edificio tiene una **demanda energética** muy baja debido a que la envolvente del edificio se ha cuidado desde el proyecto. En paredes tenemos 10 cm de aislamiento más la madera, y en cubierta 18 cm mas la madera. Esto nos da, junto a la caldera de biomasa, una **certificación energética** de categoría A.

A nivel **energético** la producción de agua caliente para calefacción del suelo radiante y agua caliente sanitaria se produce con una sola **caldera de biomasa** centralizada de 64 Kw térmicos con conexión a las placas solares.

SMiA. Structural Morphology in Architecture, experiencias constructivas con madera.

Natalia Torres[a], Omar Avellaneda[a], Diana Peña[b]
[a]LITA. Laboratorio de Innovación y Tecnología en la Arquitectura.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, Universidad Politécnica de Cataluña.
C/ Pere Serra 1-15, 08173 Sant Cugat del Vallès.
[b]Doctora Arquitecta. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. Av/ Diagonal 649, 08028 Barcelona
E-mail: smia.experimental@gmail.com

Palabras clave: estructuras desplegables, arquitectura transformable, madera, smia.

Resumen

El presente artículo describe el desarrollo de estructuras desplegables, presentando dos casos de estudio realizados como prototipos a escala, utilizando como principal material la madera y tubos de cartón para los elementos estructurales que componen las aplicaciones arquitectónicas que a continuación se describen.

Cada prototipo realizado refiere a una agrupación estructural específica, exponiendo principalmente los detalles constructivos desarrollados en cada caso. Cada tipo de enlace, unión, articulación o solución de nudos responde a las características de la geometría propuesta y del comportamiento estructural esperado, buscando obtener con barras de madera, la solución más eficiente, económica y práctica para los procesos de ensamble, despliegue, montaje y desmontaje de la estructura.

1. Introducción

El grupo de investigación SMiA de la Universidad Politécnica de Cataluña se especializa en el diseño, análisis y construcción de estructuras desplegables, basadas en el sistema tipo tijera o barras articuladas. Este tipo de estructuras se caracteriza por ventajas constructivas y estructurales como:

- El aprovechamiento máximo con respecto a su peso y economía de costo.
- Sirven para cubrir grandes luces.
- Son estructuras que involucran una rápida ejecución.
- Implementación de elementos modulares que facilita los procesos de fabricación y ensamblaje.
- Sistemas de rápido montaje y desmontaje.
- Ahorro en mano de obra y trabajo in situ.
- Reutilización de la estructura.
- Se pueden realizar estructuras efímeras y permanentes.
- Adaptabilidad a diferentes contextos.
- Posibilidad de desplegarse y replegarse para facilitar su montaje, transporte y almacenamiento.

El objetivo principal es ofrecer nuevas alternativas de diseño a través de la morfología estructural que permita desarrollar nuevas aplicaciones arquitectónicas orientadas hacia la construcción ligera y la arquitectura transformable de fácil y rápido montaje.

Para ello se han realizado exploraciones constructivas aplicando el sistema tipo tijera en diferentes propuestas arquitectónicas a nivel de prototipo, permitiendo desarrollar las uniones con un alto grado de detalle y validar las ventajas anteriormente mencionadas Fig. 1.



a b

Figura 1. a) Pabellón Erizo. b) Escenario desplegable.

2. Pabellón Erizo

Los sistemas aplicados dentro del grupo de investigación SMiA en el campo de las estructuras desplegables se basan en el estudio de estructuras tipo tijera, definidas como la articulación de dos barras en un punto central o descentrado sobre el eje longitudinal de los elementos a articular.

El sistema tipo tijera permite el giro de un elemento con respecto a otro sin que puedan separarse (1). Esta característica es lo genera el movimiento de pliegue y despliegue de la estructura. El encadenamiento de estos módulos forma una agrupación de tijeras que generan una variedad de configuraciones geométricas de redes desplegables planas o tridimensionales.

El Pabellón Erizo consiste en una agrupación espacial formada por módulos hexagonales, cada módulo se compone de seis tijeras con articulación excéntrica que toman la posición de los radios de hexágono y se unen en un nodo superior y un nodo inferior en el centro de hexágono Fig. 2.

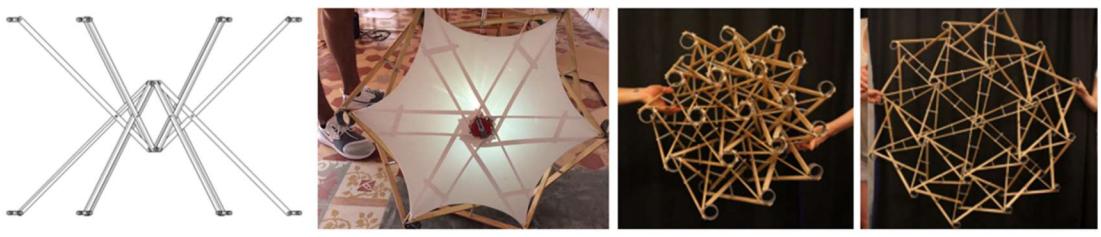


Figura 2. Módulos hexagonales a partir de tijeras rectas con articulación excéntrica.

La agrupación de los módulos hexagonales permite la configuración de diferentes geometrías espaciales con curvatura sinclástica, esto debido a la articulación excéntrica entre las barras de tijeras que genera una tipología de despliegue con curvatura (2).

Dentro de las agrupaciones espaciales logradas con este tipo de módulo, se destacan un semi domo, cáscaras desplegables como estructuras decorativas de falso techo, un arco formado por módulos hexagonales agrupados linealmente, y el domo a partir de módulos hexagonales y medios módulos agrupados concéntricamente que configura la espacialidad de media esfera Fig. 2.



Figura 2. Diferentes posibilidades espaciales a partir de la agrupación de módulos hexagonales.

2.1 Materiales

Las barras de las tijeras son madera de pino. Longitud: 0.80 m. Sección: 2cm x 1cm.
Tornillos, tuercas y arandelas
Manguera de Plástico
Tubo rígido de PVC y tapas de plástico para el tubo
Tornillos tipo paraguas para el sistema de bloqueo del movimiento

2.2 Detalle

La articulación entre barras para formar una tijera consiste en un tornillo que funciona como pasador y permite el movimiento de apertura y cierre de las tijeras. Es necesario incorporar un separador entre barras (sección de manguera) que corresponda en longitud al diámetro de anillo en PVC. Los sistemas de unión son sistemas mecánicos, basados en tortillos, tuercas y arandelas para asegurar la conexión.

El nudo es la pieza que permite unir los módulos hexagonales, consiste en un anillo de PVC que recibe seis barras de madera de forma tangencial Fig. 3.



Figura 3. Unión de barras para formar tijeras y articulación de tijeras al anillo de PVC.

Cada módulo contiene dos nudos que articula los extremos de las barras de madera, y permite el movimiento de pliegue y despliegue de la estructura. Para asegurar la estructura en su estado final de despliegue, el sistema de bloqueo de movimiento se logra ajustando los tornillos tipo paraguas, que van desde el nudo superior al nudo inferior por cada módulo hexagonal. En el caso del domo desplegable, la geometría en su estado final de despliegue es estable por si sola y no es necesario incorporar los tornillos tipos paraguas.

Referente al comportamiento de la estructura, la estructura se despliega y repliega con facilidad y manualmente. Es necesario contar con elementos adicionales de seguridad que garanticen que la estructura se mantiene en su estado final de despliegue durante su uso, así que es necesario incorporar cables que mantengan la estructura en su posición.

Las barras de madera en su mayoría no han sufrido fallos, han soportado favorablemente números procesos de pliegue y despliegue de la estructura, así como procesos de montaje y desmontaje para configurar nuevas espacialidades. Los fallos más comunes en casos aislados se generan por fisuras en los extremos de la barra y en segundo lugar, la rotura de la barra por torsión y pandeo en las barras inferiores de los domos y arcos Fig. 4.

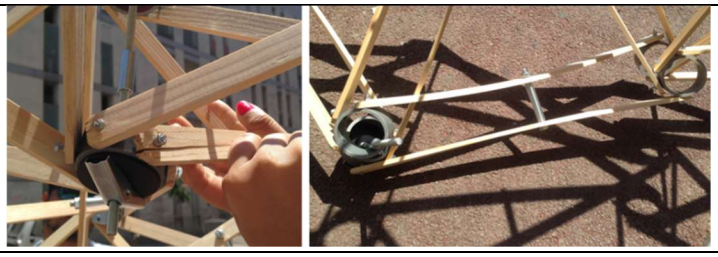


Figura 4. Rotura de la barra en los extremos. Pandeo y torsión en las barras inferiores

5. Escenario plegable

El escenario desplegable se basa en medio domo compuesto de cinco arcos plegables que logran una altura de 3.00 metros es su estado final de despliegue y en planta ocupa media circunferencia con un diámetro total de 6.00 metros. Incluye una plataforma plegable como tarima y lonas entre arcos para cerrar el espacio.

La particularidad de esta propuesta está en el material utilizado para los arcos, en esta oportunidad se realiza agrupaciones planas de tijeras con tubos de cartón. El resultado es una estructura ligera, donde la estabilidad está dada por la geometría de los arcos y el sistema constructivo, basado en la construcción tradicional de arcos y cúpulas: semiarcos que se elevan y se juntan en la cúspide donde se localiza la clave o piedra angular. En este caso, son arcos desplegables que se juntan en la cúspide y se estabilizan con un único nudo central, la clave (3) Fig. 5.



Figura 5. Proceso de despliegue Escenario plegable

5.2 Materiales

Barras de los arcos: Tubos de cartón de 5 cm de diámetro y 5 mm de espesor.
Separadores: bambú de 2 cm de diámetro.
Plataforma plegable: Vigas en pino americano, paneles en aglomerado laminado (los paneles son material reutilizado que proviene de mesas que no estaban en uso).
Cubierta en tela: Lycra blanca.
Clave: Lamina de aluminio compuesto.
Tornillos, tuercas y arandelas.

5.3 Detalle

Para la articulación entre tubos de cartón se utiliza secciones de cañas de bambú, eliminando los anillos característicos de las cañas y de esta forma reducir la fricción durante el movimiento de despliegue de los arcos Fig. 6.



Figura 6. Articulación entre tubos de cartón mediante cañas de bambú.

La clave o nodo principal, es una pieza hecha en lámina de aluminio compuesto, su geometría permite recibir los extremos superiores de todos los arcos y que estos se anclen por medio de tornillos Fig. 7.



Figura 7. Nodo principal escenario plegable

El escenario fue pensado como una estructura temporal para dos semanas, resiste únicamente su propio peso. El nodo resulto ser una pieza muy pesada en relación al catón y hace falta estabilizar los arcos mediante cables para que no caigan hacia adelante debido al peso de la clave. Adicionalmente la lycra mejora la estabilidad de los arcos interiores.

El proceso de despliegue y fijación de los arcos en la cúspide se realiza en 30 minutos, el desmontaje y repliegue de la estructura tarda 20 minutos.

6. Conclusiones

Cada uno de los prototipos construidos demuestra como la madera genera versatilidad para diferentes tipos de uniones, permitiendo crear sistemas de fácil ensamblaje, rápido montaje y desmontaje.

El proceso de fabricación de las piezas requiere solo el corte de las barras, logrando en poco tiempo una gran cantidad de elementos modulares para formar módulos estructurales. Así mismo la perforación de agujeros requiere herramientas sencillas sin mano de obra especializa generando elementos definidos para su ensamblaje.

La selección de las barras de madera a utilizar debe tener un rigor, escogiendo las piezas de mejor calidad, para evitar fisuras en los extremos de las barras de madera debido a la existencia de nudos o grandes vetas.

Los sistemas estructurales descritos se componen de elementos lineales, de esta forma la madera se convierte en un material ideal sostenible que se comporta de manera eficaz en cada uno de los ejemplos expuestos.

En el caso del escenario desplegable se explora con tubos de cartón, demostrando la capacidad portante que pueden llegar a tener este tipo de elementos a través de una configuración geométrica y el sistema constructivo de arcos tradicionales.

Referencias

(1) Candela, F., Pérez, E., Calatrava, S., Escrig, F (Ed.)., y Pérez, J. Arquitectura Transformable. Textos de arquitectura. Sevilla: Publicación de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. 1993.

(2) Avellaneda, O. Deployable Structures System, Hexagonal X-frame.Three Case Studies. Archi.DOCT. Algorithmic thinking 8. Vol. 4 (2) / February 2017.

(3) Torres, N. Deployable Arches Based on Regular Polygon Geometry. Archi.DOCT. Algorithmic thinking 8. Vol. 4 (2) / February 2017.

Edificios de varias plantas de madera. Edificio Magalhaes, Poble Sec Barcelona.

Julio López[1], Toni Escudé[2]
[1]www.betarq.com
[2]Arquima. Josep Ros i Ros, Nave 39A. Polígono Industrial La Clota, 08740 Sant Andreu de la Barca, Barcelona
toni.escude@arquima.net

Palabras clave: edificios de madera, construcción sostenible, construcción prefabricada.

Resumen

Aplicar una ética ambiental en el escenario actual de la construcción pasa por reconocer, valorar y usar al máximo todo lo que ya tenemos. Esta actitud empieza por aprovecharla infraestructura viaria, de suministros y servicios de los núcleos urbanos ya consolidados, y se prolonga sacando el máximo partido a todo lo que las edificaciones preexistentes puedan ofrecer a los nuevos edificios que las sustituyan.

Este es el caso del edificio Magalhaes, en el núcleo urbano de Barcelona, que aún sin tener una normativa que obligase a ello, respeta, mantiene y aprovecha parte de la construcción inicial para incorporarla a la nueva con funciones estructurales, de cerramiento y de imagen del resultado final. Así se combina la construcción tradicional de fábrica de ladrillo con moderna tecnología de montaje en seco en base a elementos de madera preindustrializados y ensamblados en obra en forma de grandes componentes en un proceso in situ rápido y limpio.

El resultado es un edificio de bajo consumo y bajo impacto, hecho con materiales bios-féricos y que demuestra que la construcción ética y respetuosa con el medio ambiente es perfectamente compatible con resultados empresariales positivos en un mercado tan competitivo como el sector residencial en una gran ciudad como Barcelona.

El edificio se sitúa en la confluencia de las calles Magalhaes y Radas, en el barrio del Poble Sec de Barcelona. Tiene 450 m^2 construidos, distribuidos en tres plantas sobre rasante, con una terraza transitable en la cubierta. Tiene 6 viviendas con superficies entre los 40 y los 65 m2 útiles, de uno y dos dormitorios respectivamente.

Reutilización

El edificio, esquinero, constaba de dos fachadas y dos medianeras y, a pesar de que no era un edificio catalogado (no revestía ningún interés arquitectónico según la Administración), se decidió mantener las fachadas de la planta baja, de ladrillo macizo de 60 cm de grosor, así como las medianeras de este mismo nivel, del año 1890 por varios motivos:

- Por su buen estado de conservación y ausencia de patologías, habiendo demostrado en su primera vida la sobrada capacidad que ofrecían, tanto a nivel de soporte estructural como en su papel de cerramiento del ambiente interior.
- Porque a los autores les pareció respetuoso y afectivo con el barrio mantener algo de la memoria depositada en este edificio, algo que permanezca, más allá de los cambios constantes ya que, según su punto de vista, el valor de la memoria de las personas es independiente del valor de las cosas establecido por las instituciones.
- Para, una vez planteada la posibilidad de realizar la fachada de madera, alejarla de los impactos y del riesgo de vandalismo existente a nivel de la calle, por criterios de durabilidad y conservación.
- Para alejar, también por durabilidad, la nueva construcción de madera del mayor riesgo de presencia de humedad a nivel del terreno que la existente en altura.
- Para, compositivamente, potenciar el contraste entre los materiales característicos de lo viejo (de finales del siglo XIX) y de lo nuevo (de inicios del siglo XXI).



Construcción

Uno de los aspectos que se han tenido en cuenta a la hora de llevar a cabo este proyecto es la naturaleza del sistema constructivo por módulos de madera prefabricados, en los que la mayoría de los materiales utilizados son naturales y de bajo impacto ambiental. Este planteamiento reduce al mínimo la cantidad de material tanto colocado en el edificio resultante como generado en forma de residuos durante la fabricación de los elementos en taller y durante su colocación. El tiempo de obra in situ también se ve notablemente reducido. Se estima que se utilizaron en la obra entre 3 y 4 meses menos respecto lo que hubiese necesitado un proceso de obra convencional en base a técnicas húmedas de hormigón y obra de fábrica cerámicas tradicionales. Además, el ensamblaje de los elementos, mecánico y con uniones reversibles, permitirá que éste sea desmontado rápidamente cuando la vida útil del edificio termine. De este modo se favorece, ya desde el diseño, o bien la futura reutilización de algunas de sus partes y componentes, o bien el reciclaje de sus materiales.





Estructura

La estructura del edificio resultante es mixta, y combina los elementos recuperados de la antigua edificación con los añadidos en el resto de volumen.

La fachada conservada de la planta baja se usa como estructura de soporte del nuevo añadido. Al ser tan gruesa y no presentar patologías tiene capacidad portante más que sobrada para poderlo asumir, tal y como hacía en el edificio inicial. La fachada que da a la calle Magalhaes y la pared medianera opuesta son de carga y la de la calle Radás y la pared medianera opuesta son de riostra.

El pilar estructural central de hierro fundido fue reciclado y reutilizado a nivel de decoración en uno de los pisos de la planta baja. Para la realización de la estructura tanto vertical como horizontal se optó por una estructura de entramado ligero de madera de gruesos 200mm y 250mm respectivamente, en base a un sistema específico desarrollado por el equipo redactor del proyecto. Las maderas utilizadas que forman las fachadas, sus revestimientos exteriores y la tabiquería interior portante son del sur de Francia, y las que forman la viguería de los forjados y los paneles de abeto vistos en techos, de Austria. Se mantiene la cimentación original de las fachadas y las paredes medianeras del edificio, ya que se probó su suficiencia para soportar las solicitaciones que le iba a transferir del nuevo proyecto. La cimentación correspondiente a la pared intermedia y la de alrededor del ascensor son nuevas, y se han construido mediante micropilotaje dados los condicionantes que aportaba tanto el terreno como las edificaciones circundantes.

La envolvente

Las fachadas (U=0'22W/m2K) son de 285 mm de grosor total y están realizadas a partir de un panel sándwich de entramado de montantes verticales de madera de 150x36mm, con un tablero de virutas orientadas OSB de 10 mm de grueso por cada lado. En las cavidades entre los montantes verticales y los tableros OSB se sitúa el aislante térmico. Hacía el exterior, se completa con una lámina impermeable y transpirable una cámara de aire ventilada con rastreles de 25mm de grueso y un revestimiento exterior con tabla de pino Douglas tratada, sin albura, de 45 mm de grueso con ranurado horizontalmente. Hacia el interior, se completa con una cámara de aire de 32 mm de grosor con rastreles para paso de instalaciones y placa de celulosa de papel reciclado y yeso de 13 mm de grosor.

Las fachadas se montan en taller y se transportan a la obra en módulos planos de una sola pieza por cada una de las dos orientaciones del edificio. Solamente el doblado interior se realiza en obra, ya que el hueco que genera se utiliza para el paso de instalaciones. Este doblado interior ayuda a mejorar el comportamiento energético del edificio, ya que ayuda a mantener altos los valores de la estanqueidad al aire de la envolvente. Esto es así porque todos los trazados de instalaciones circulan por este

doblado, sin tener que atravesar en ningún punto el panel estructural, que se mantiene intacto y perfectamente sellado y continuo en toda la envolvente.
Las carpinterías exteriores son de madera de Iroko. El Control solar en ventanas es un sistema de persianas de aluminio motorizadas, con lamas orientables y replegables en vertical.



Las cubiertas (U=0'18W/m2K) son también semiprefabricadas por módulos. Las vigas son de madera KVH C24 de abeto de sección 100x200mm, colocadas cada 500mm. Bajo las vigas se coloca un tablero de abedul de 19mm de grosor acabado visto con barniz mate y juntas a testa. El aislamiento térmico de 200mm de grosor se embute en el espacio de entrevigado, y sobre el tablero inferior. Por la cara superior hay dos tableros de partículas de 1'9cm de grosor cada uno de ellos, sobre los que se disponen rastreles hidrófugos de formación de pendientes y un tablero de DM hidrófugo ya en pendiente que es el soporte del sistema de impermeabilización y acabado. Éste consta de una lámina de EPDM de 1'2mm de una sola pieza, una capa separadora geotéxtil no tejido filtrante de 180g/m2, unos rastreles tratados a la utoclave para recuperar la horizontalidad del acabado, y pavimento final de listones de madera de Iroko de 25mm de grosor.
Para el revestimiento de fachada existente se utilizó mortero de cal con grafeno, que ofrece características mejoradas respecto los morteros tradicionales de cal, con más resistencia a compresión y a flexión, mayor transpirabildad y menor absorción de agua líquida. Así mismo, la pintura utilizada en las paredes interiores también ha sido de cal con grafeno.
La solera de planta baja está hecha de hormigón armado con fibras no metálicas para evitar la contaminación electromagnética, y cuenta con un aislamiento térmico de 8cm.



Conclusiones

El equipo de arquitectos redactor del proyecto insisten en destacar la componente ética de esta promoción, los buenos resultados profesionales que les ha reportado (reconocidos por 4 hojas en la Certificación Verde y por una calificación enegética A) y el cambio de mirada, sin vuelta atrás, que ha supuesto tanto para ellos como para la promotora y los demás agentes implicados.

Uso responsable de los productos madereros en elementos urbanos

Eduard Correal-Mòdol[a], Jordi Gené Sera[a], Xavier Felip Garcia[b], Mar Campanero Sala[b], Carles Labèrnia Badia[c],
[a]Centre Tecnològic Forestal de Catalunya-Institut Català de la Fusta, Carretera de Sant Llorenç km 2. 25280. Solsona; [b]Ajuntament de Barcelona, Plaça Sant Jaume, 1. 08002. Barcelona Dirección; [c]1403 Consultors, Carrer Enric Pubill "Lo Parrano", 5. 25005. Lleida.
eduard.correal@incafust.cat

Palabras clave: guía de la madera, ventajas ambientales, legislación maderera, especies de madera, durabilidad

Resumen

El Ayuntamiento de Barcelona aprobó el año 2003 la primera política de compra responsable de madera. El objetivo era garantizar la sostenibilidad de esta materia primera utilizada en cantidades importantes en parques y jardines, mercados, bibliotecas y servicios funerarios del municipio, entre otros. Esta política, que ha sido un referente a nivel estatal e internacional, se ha actualizado el año 2015 con la aprobación de la nueva Política de compra responsable de madera de gestión forestal sostenible.

Como consecuencia de esta apuesta política, se ha impulsado la redacción de la guía sobre el "Uso responsable de los productos madereros en elementos urbanos" (1) (Figura 1). Este documento está dirigido a los prescriptores y técnicos encargados de escoger, adquirir y mantener la madera y los productos madereros que se utilizan en elementos urbanos y constructivos. Para ello, se dan directrices claras sobre el uso responsable de este material, se expone como aprovechar todo su potencial, evitar el uso incorrecto y no sufrir los problemas que esto comporta. La guía considera al mismo tiempo los requerimientos técnicos y ambientales y ello le da gran utilidad y razón de ser.

El contenido de la guía se organiza en ocho puntos principales. Empieza con la descripción básica del material para que el lector comprenda las bondades ambientales, características, prestaciones y requerimientos técnicos de material. Este punto, a pesar de parecer trivial, se consideró imprescindible pues el desconocimiento de las singularidades de la madera es muy común entre los técnicos y prescriptores del mundo de la construcción y la obra civil. La experiencia demuestra que estas carencias en el conocimiento conllevan la mala utilización del material y acarrean costosas consecuencias en las obras.

A continuación, se exponen los criterios y las certificaciones existentes para seleccionar las especies madereras de forma correcta desde un punto de vista ambiental. En primer lugar, se exponen las normas sobre comercio internacional de madera que regulan su importación y consumo. Se hace un repaso a las licencias FLEGT, el reglamento EUTR, el convenio CITES y la lista de especies protegidas IUCN. También se exponen las principales cuestiones sobre certificación forestal y cadena de custodia y los sellos PEFC y FSC. Finalmente se repasa el sello de calidad Catforest sobre productos forestales originarios de Cataluña, la ecoetiqueta de calidad ambiental europea y el reglamento EMAS sobre declaraciones ambientales.

El cuarto punto de la guía trata la importancia que tiene conocer la filiación botánica de cada especie de madera, tanto desde un punto de vista ambiental como técnico y comercial. Aquí también se explican conceptos de taxonomía botánica cómo "conífera" y "frondosa"; diferencias entre especies de procedencia boreal y tropical o softwoods y hardwoods; que es una especie exótica y nativa; y que es la madera local y la de proximidad. Este punto contiene una lista de las especies comerciales más habituales.

Uno de los aspectos que más preocupan a los prescriptores y técnicos que trabajan con madera es su vida útil y su mantenimiento. Para entender cómo se comporta el material y cómo se debe usar, la guía describe las clases de uso, las clases de servicio, los agentes xilófagos y como todo ello afecta a la madera. Esto se complementa con una explicación sobre la durabilidad de la madera, los tratamientos protectores y recomendaciones generales para la toma de decisiones (Figura 2). Otros factores importantes a tener en cuenta cuando se utiliza madera son los elementos auxiliares necesarios, principalmente adhesivos y herrajes, sus tipologías, como se comportan y cómo deben usarse.

La guía también describe, mediante fichas técnicas, los materiales madereros más comunes con el objetivo de mejorar su conocimiento, clarificar las denominaciones comerciales, especificar sus características básicas y dar indicaciones para asegurar un uso idóneo. La madera es un material extremadamente versátil que se puede procesar de muchas formas distintas y combinar con infinidad de materiales. Por ello, cada uno de los productos madereros tienen unas características singulares y un uso específico en función de su estructura y composición. En total se describen veintiocho materiales distintos, desde tableros a elementos estructurales pasando por todo tipo de composites (Figura 3).

El último capítulo es una recopilación de dieciséis fichas técnicas sobre los elementos urbanos más comunes en los que habitualmente se utiliza madera. Los elementos urbanos son mobiliario urbano, pérgolas, pavimentos, pasarelas, embarcaderos, etc. En cada ficha se describe la clase de uso a la que se enfrenta el elemento, los herrajes que se utilizan, los productos madereros con los que pueden construirse y que ventajas e inconvenientes tiene utilizar cada uno de estos materiales (Figura 4).



Figura 1. Portada de la guía

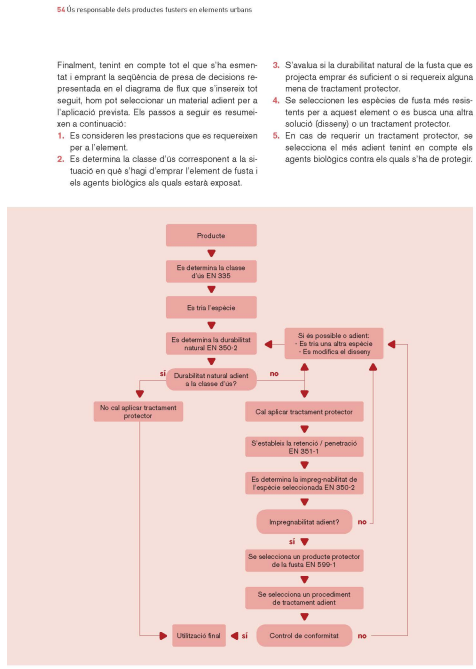


Figura 2. Diagrama de toma de decisiones en el uso de la madera



Figura 3. Fichas técnicas de productos madereros



Figura 4. Ficha técnica de elemento urbano de madera

Referencias

(1) Correal-Mòdol, E.; Gené Sera, J.; Felip Garcia, X.; Campanero Sala, M. Ús responsable dels productes fusters en elements urbans. *Ajuntament de Barcelona*. *Àrea d'Ecologia Urbana*. **2017**, 98.

Proyecto ISOBIO: trazando la vía para el desarrollo de materiales de construcción naturales a gran escala

Oliver Style[a], Mike Lawrence[b]
[a]Socio ISOBIO, Progetic, C/Ramon Turro 100-104, 3-3, Barcelona, España; [b]Investigador Principal ISOBIO, BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, BA2 7AY, UK
ostyle@progetic.com

Palabras clave:

ISOBIO da nombre al proyecto de Desarrollo de Materiales de Aislamiento de Altas Prestaciones a partir de Agregados Bio-derivados. El proyecto europeo, que empezó en febrero de 2015 y dura 4 años, pretende desarrollar nuevos materiales aislantes y revocos a partir de la combinación de agregados de materiales naturales, como fibras vegetales y residuos agrícolas, y aglomerantes biológicos.
El proyecto se engloba dentro del contexto de Horizon2020, programa de investigación de la Unión Europea, en el apartado de Materiales para la Envolvente de los Edificios.
Las pretensiones de ISOBIO se originan a partir del análisis de la situación actual del parque inmobiliario y del sector de la construcción: En la Unión Europea, se calcula que el 40% del consumo total de energía y el 36% de las emisiones totales de CO2 están relacionados con el sector y el uso de las edificaciones existentes; de esas emisiones, el 60% provienen solamente de la climatización de los edificios.
Estos alarmantes datos, y con el trasfondo del calentamiento global, abren el reto de la de-carbonización de la construcción, es decir, la reducción del consumo de energía y emisiones de gases contaminantes. El consorcio de ISOBIO, plantea:

- Reducción de la energía y el CO2 embebido a nivel de producto de la construcción.
- Mejora de las prestaciones aislantes de los aislamientos desarrollados.
- Reducción de costes de producción.

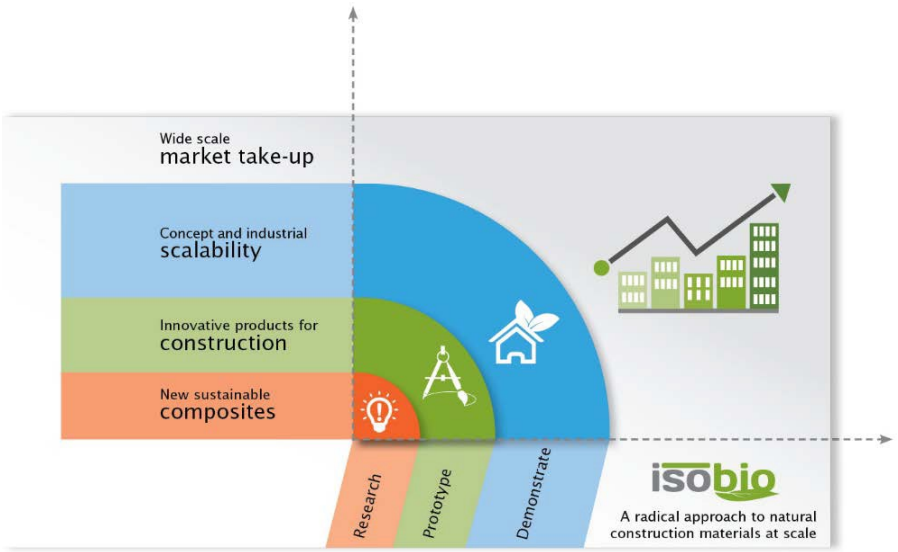


En ISOBIO estamos trabajando con nuevos materiales de baja energía embebida, para producir productos de alta durabilidad, aptos para la producción a gran escala y para su uso en la construcción general. El uso de materiales naturales y residuos implica una reducción en la energía embebida del producto resultante, y a su vez, permite considerar los edificios donde se instalen estos productos como depósitos de CO2 secuestrado, debido al proceso de fotosíntesis.

Otro aspecto muy a tener en cuenta sobre los materiales de origen biológico, son las propiedades higrotérmicas que poseen de manera natural. Potenciándolas mediante la investigación en el proyecto, permitirán reducir los picos de humedad relativa interior y por tanto, mejorar la calidad del aire interior y reducir las demandas de refrigeración. Así, el proyecto abarca desde el estudio y elección de los materiales de origen biológico hasta la implantación en el mercado europeo, pasando por el desarrollo, la industrialización y el análisis de los productos resultantes. Este proceso se ha dividido en paquetes de trabajo, que se desarrollan a lo largo de estos 4 años de duración y que implican unos resultados concretos para cada uno.

Los primeros paquetes de trabajo se han centrado en la caracterización de bio-agregados, materiales biológicos que actúen como aglomerante y la compatibilización de componentes para crear materiales estables, con propiedades aislantes que puedan conformar productos fiables y durables en el tiempo. Desde el inicio del proyecto y durante todo el proceso, hay un equipo de trabajo encargado de realizar el análisis de ciclo de vida y de costes, desde el material base hasta los productos aislantes y de revoco resultantes del proyecto.

Una vez desarrollados los materiales, hay otros paquetes de trabajo donde se desarrollan los productos concretos, definiendo el formato, sistemas de instalación, usabilidad del producto; además, se definirá el proceso de producción e industrialización de los productos.



El proyecto tiene una fase de ensayos, en el que se testearán prototipos en diversos climas y se realizarán simulaciones dinámicas con software especializado como DesignBuilder-EnergyPlus y WUFI Pro para comprobar y optimizar las propiedades térmicas e higrotérmicas.

Durante todo el proyecto también hay un paquete de trabajo dedicado a la explotación y difusión del trabajo y de los productos resultantes, que estudia y planifica su inclusión en el mercado de la construcción actual.

Los beneficios de los productos ISOBIO serán una menor energía embebida y CO2, una mejora de las propiedades aislantes, igual durabilidad y estabilidad, menores costes de producción y una reducción de la energía utilizada durante la vida útil de los edificios, nuevos o rehabilitados.

El principal objetivo de ISOBIO es normalizar el uso de materiales naturales y hacerlos tan comunes como los que derivan minerales o del petróleo. Los aislamientos resultantes de ISOBIO se presentan como una alternativa real a los tradicionales, ofreciendo además el valor añadido de regulación del ambiente interior y propiedades de absorción de contaminantes del aire. Los revocos, ofrecerán propiedades de control de vapor superiores a los que hay en el mercado, muy indicado para rehabilitaciones.

El potencial de los productos de ISOBIO para dar uso a desechos de la industria agrícola, implica una mejora en el rendimiento de los cultivos añadiendo valor a materiales que de otro modo tendrían muy bajo valor económico o serían simplemente desperdicios.

Avances de la Acción COST FP1402: de la investigación a la futura normativa

José Manuel Cabrero[a], Vladimir Rodríguez[b]
[a]Cátedra Madera, Universidad de Navarra, 31009 Pamplona; [b]LiTA, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona
jcabrero@unav.es

Palabras clave: madera estructural, normativa, COST, panel contralaminado, uniones, estructuras mixtas, bases de diseño

Resumen

Las dos últimas décadas han significado un gran avance en el conocimiento científico sobre la madera estructural y en el desarrollo de nuevos productos y sistemas constructivos. Pero en muchas ocasiones estos resultados son raramente conocidos por la construcción: además de no estar todavía incluidos en la normativa, en muy pocas ocasiones están en un formato adecuado para su empleo en la práctica del diseño estructural.

Por ello, en 2014 se inició la acción COST FP1402 "*Basis of Structural Timber Design*" - *from research to standards* ("Bases del diseño estructural con madera" – de la investigación a la normativa), cuyo objetivo es acercar los últimos resultados científicos y los nuevos desarrollos a los diseñadores, la industria, las autoridades y los comités normativos (1). Coordinada por el Dr. Philipp Dietsch, de la Universidad Tecnológica de Múnich (Alemania), con la ayuda del Prof. Jochen Köhler, del Instituto Noruego de Ciencia y Tecnología (NTNU), la acción concluirá en 2018.

En la Acción participan 26 países, con un total de alrededor de 140 participantes, que no sólo provienen de la universidad o el ámbito científico. También participan profesionales dedicados al diseño de estructuras y la construcción. Los autores son los representantes españoles en esta acción.

La acción está consiguiendo coordinar, consolidar y armonizar los resultados científicos más recientes, con el objetivo de mejorar los futuros métodos y normas de diseño. Como está previsto que en 2020 aparezca una nueva versión del Eurocódigo 5 (Diseño de Estructuras de Madera), se desarrolla en estrecha colaboración con los grupos de trabajo encargados de esta futura normativa. De hecho, muchos de los participantes son a su vez integrantes de los grupos de trabajo encargados del desarrollo del Eurocódigo 5.

Como toda acción COST, otro de sus objetivos es fomentar la cooperación y el establecimiento de redes de conocimiento a nivel europeo. Para ello, cuenta con diversas herramientas: reuniones semestrales de coordinación, misiones científicas de corta duración (STSM) y cursos (Training Courses).

Se han financiado hasta la fecha catorce misiones de corta duración, gracias a las que los participantes visitan una institución o laboratorio en otro país participante, para desarrollar tareas relacionadas. Este tipo de colaboraciones contribuyen específicamente a los objetivos científicos globales de la acción COST, al mismo tiempo que permiten a los investigadores aprender nuevas técnicas o acceder a conocimientos específicos, instrumentos y métodos no disponibles en sus instituciones de origen.

La acción divide su trabajo en cuatro grupos: WG1, desarrollo de las bases de diseño; WG2, construcción con paneles contralaminados (CLT); WG3, diseño de uniones; y el WG4, estructuras mixtas madera-hormigón.

Grupo de trabajo WG1. Bases de diseño.

El grupo de trabajo está coordinado por Jochen Köhler (NTNU, Noruega) y Gerhard Fink (Aalto University, Finlandia).

Su tarea principal es la armonización de las técnicas y métodos necesarios para probar la fiabilidad y seguridad de los materiales y productos de madera en la construcción. Por sus temas de trabajo, colabora estrechamente con los demás grupos de trabajo de la acción, puesto que sus áreas permiten el estudio de casos para la aplicación del documento de orientación.

Específicamente, los siguientes aspectos son considerados en el WG1:

- Requerimientos de servicio (tales como deformación y vibración) de las estructuras.
- Cuantificación de las cargas de diseño y de sus combinaciones. Posibles simplificaciones y repercusiones.
- Impacto de la consideración de la rigidez de la unión en los resultados de estado límite último.
- Implementación adecuada de los principios del Eurocódigo 0 (Bases de diseño) en el Eurocódigo 5.
- Aspectos específicos de calibración del código para el material madera, tales como el parámetro k_{mod} (duración de la carga, influencia de la humedad…), coeficiente de minoración del material γ_M.
- Desarrollo del coeficiente de seguridad parcial para el CLT, y de su modelo de incertidumbre.
- Obtención adecuada de valores para el análisis a partir de modelos numéricos y ensayos experimentales, desarrollo de una guía para el análisis de datos

Ha desarrollado además un curso sobre el modelado probabilístico y estimación de la seguridad en ingeniería con madera (11 al 16 de septiembre de 2016) en Trondheim (Noruega). La actividad buscaba mejorar el conocimiento y las competencias en el modelado probabilístico, incidiendo en la teoría probabilística básica, el análisis de datos, la seguridad estructural, la calibración de los códigos (aspectos de riesgo y seguridad), y el asesoramiento de estructuras existentes.

Grupo de trabajo WG2. Panel contralaminado.

El grupo de trabajo está liderado por Prof. Reinhard Brandner (Universidad de Graz, Austria) y Prof. Roberto Tomasi (Universidad de Ciencia y Tecnologia NTNU, Trondheim, Noruega).

El objetivo principal de este grupo de trabajo es armonizar el actual estado de los criterios de diseño de la madera contralaminada (CLT). Es decir, recolectar, discutir, evaluar, armonizar y condensar el fragmentado estado del arte del CLT, tomando como enfoque el diseño y el ensayo. En la actualidad la madera contralaminada está solamente regulada por la ETA (*European Technical Assessment*), es decir, solo para configuraciones específicas por determinados fabricantes.

El WG está enfocado en los siguientes aspectos:

- Desarrollo e implementación de ensayos de validación para la clasificación de las propiedades básicas del material. Por ej. Obtención de las clases de resistencia.
- Método para verificar la conformidad de los elementos del CLT con los requerimientos esenciales como ser resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad.

Se han formado cuatro grupos de tareas (TG), el TG1 está enfocado en el diseño de los elementos en CLT; el TG2 en ensayo y evaluación; el TG3 propiedades del CLT; y el TG4 diseño de sistemas en CLT.

El primer trabajo consistió en conocer el estado de conocimiento y confianza del CLT entre los diferentes actores que trabajan con este material, como ser ingenieros, académicos, industriales, etc. La encuesta online se realizó en los diferentes países que integran la red.

Grupo de trabajo WG3. Uniones.

El grupo de trabajo está coordinado por el Dr. Jorgen Munch Andersen (Danish Timber Information, Dinamarca) y la Dra. Carmen Sandhaas (Karlsruher Institute of Technology, KIT, Alemania).

La tarea más importante dentro de este Grupo de Trabajo es la recopilación y armonización de métodos y parámetros para determinar la transferencia de carga en

conectores tipo clavija. El objetivo es obtener métodos universales y parámetros que sean aplicables a todos los tipos y productos estructurales de madera existentes.

Las áreas principales de trabajo del grupo son:

- Mejora de los modelos de cálculo existentes permitiendo una comparación simple entre los diferentes tipos de conectores tipo clavija.
- Incorporación de efectos de grupo. Definición de la resistencia de la madera (mecanismos de rotura frágil).
- Aplicación de tipos comunes de sujetadores en productos a base de madera, incluyendo madera contralaminada (CLT) y microlaminada (LVL);
- Consolidación de conocimientos sobre rigidez, capacidad cercana al máximo y ductilidad de las conexiones;
- Armonización y mejora de las configuraciones de ensayo, procedimientos de ensayo y análisis para derivar las propiedades necesarias.

Una de las primeras actividades desarrolladas por este grupo fue la realización de un cuestionario para recoger la experiencia de los diseñadores sobre la aplicación y practicidad del actual capítulo sobre uniones del Eurocódigo 5. En él se recogieron las impresiones sobre su facilidad de uso, adecuación de la información aportada, o temas que eran necesarios incluir. La encuesta fue respondida por unas 400 personas, en su mayoría de los países participantes en la acción.

Grupo de trabajo. WG 4

El WG4 está coordinado por el Prof. Dr. Alfredo Dias (Universidad de Coimbra, Portugal) y por el Prof. Jörg Schänzlin (Hochschule Biberach, Alemania)

La misión del grupo es generar un documento que sirva de referencia para revisión del Eurocódigo 5 en relación a las estructuras mixtas madera-hormigón.
Por este motivo, la más importante tarea dentro de este grupo es la recolección de datos y procesos previos de los principales conocimientos en relación a las estructuras mixtas madera-hormigón.

El objetivo del grupo se centra en los siguientes aspectos:

- Compatibilidad entre los materiales de las estructuras mixtas, con el fin de optimizar el diseño y el funcionamiento de las mismas.
- Comportamiento a largo plazo: determinar la variación de las propiedades de rigidez y sus efectos en la redistribución de carga y su capacidad.
- Configuración y métodos para determinar las propiedades de uniones. Por ej. Los elementos que forman las estructuras de madera-hormigón.
- Integrar sistemas híbridos como componentes para soluciones constructivas innovadoras.

El grupo se ha divido en las siguientes cuatro tareas: acciones; conectores; respuesta dinámica y a corto plazo; respuesta de fluencia y a largo plazo.

La primera etapa de trabajo ha consistido en presentar el Estado del Arte, en el ámbito científico-técnico como en las aplicaciones. Para ello, y siguiendo una matriz, se ha realizado un resumen bibliográfico de material relacionado con las estructuras mixtas madera-hormigón publicada en revistas científicas, en congresos y en trabajos realizados por expertos de los diferentes países que participan en la red.

El trabajo se coordina con los otros grupos de trabajo (WG), con el fin de compartir información y complementar el trabajo.
El WG-4 tiene programado un curso de formación para el primer trimestre del 2018.

Conclusiones

La Acción COST FP1402 ha pasado ya su ecuador, y comienza a dar resultados visibles. En breve estarán disponibles informes y documentos de trabajo que servirán de guía y material de referencia para el desarrollo de la futura normativa estructural europea. La Acción ha centrado sus esfuerzos en cuatro áreas principales, todas ellas necesitadas de nuevos desarrollos:

- bases de diseño: calibración de coeficientes de seguridad, ajustes de duración de la carga y humedad para los distintos productos estructurales de madera;
- madera contralaminada: desarrollo de los documentos de referencia para facilitar su incorporación a la normativa;
- uniones: mejora de los métodos actuales de cálculo y de la definición actual de las propiedades de los conectores tipo clavija;
- estructuras mixtas madera-hormigón: desarrollo de la documentación base para su incorporación en la futura normativa.

Toda la información y documentación están disponibles en la página web de la acción (1). Además, a lo largo de 2018 se publicará un número especial de la revista *Engineering Structures* dedicado a esta Acción.

Agradecimientos

Los autores agradecen la contribución y el apoyo de la Acción COST FP1402.

Referencias

(1) Página web de la Acción COST FP1402. https://www.costfp1402.tum.de/en/home/ Fecha de acceso: 14-junio-2017

Valoración de tableros de CLT según la norma EN 16351

Eva Hermoso[a], Emilio Luengo[b], Juan Carlos Cabrero[a]
[a]Laboratorio de Estructuras de Madera CIFOR-INIA, Ctra. La Coruña km. 7,5, Madrid;
[b]AITIM (Asociación de Investigación Técnica de la Madera), c/Flora 3, Madrid.
hermoso@inia.es

Palabras clave: Tableros contralaminados, encolado, delaminación, cortante, calidad

Resumen

En las últimas décadas el uso estructural de los tableros contralaminados de madera (CLT) se ha incrementado notablemente. Las ventajas que este producto de madera encolada proporciona en cuanto sostenibilidad medioambiental, reducción de tiempos de construcción, posibilidad de dimensiones, alta capacidad de carga y excelente estática que permite la eliminación de la mayor parte de pilares, conlleva que se prevea un futuro aún más prometedor para el CLT. Sin embargo, como todo producto manufacturado, debe estar sometido a una serie de controles sobre su producción que garanticen el cumplimiento de sus prestaciones.
Recientemente (2016) se ha publicado la norma EN 16351 (1) como respuesta al incremento de la demanda de los tableros contralaminados que se incorporan en obra nueva y en rehabilitación. En ella se recogen los requisitos técnicos de prestación del producto y la forma de evaluarlos, entre los que se encuentran los ensayos de delaminación de planos de encolado y de esfuerzo cortante orientados al control de fabricación para la calidad de encolado del producto.
El objetivo de este trabajo es la valoración de ambos métodos ya que introducen novedades que, debido a su reciente publicación, aún no ha sido posible evaluarlos de forma prolongada. Para ello se utilizaron 5 paneles de CLT de los que se extraen las probetas para la realización de los ensayos según normativa.
Los resultados muestran que ambas metodologías deben ser complementarias, si bien, no siempre guardan correlación. El requisito de apertura de planos se revela eficaz para la valoración de una mayor superficie de encolado.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El estudio se realizó sobre muestras de 1000x1000 mm de 5 tableros de CLT fabricados con madera de *Picea abies* (L.) Karst. y adhesivo estructural de poliuretano monocomponente (PUR) compuestos por 3 capas de láminas, de los que se extraen las muestras.

Se estudiaron los dos ensayos incluidos en la reciente norma publicada EN 16351:

1) ***Ensayo de cortante*** sobre probetas cortadas con fibra a paralela (**P**):

Se describe en el anexo D de la norma y considera el corte de las probetas en paralelo a los cantos y de dimensiones 40x40 mm. El ensayo es similar al establecido para madera laminada encolada (EN 14080 (2)) aunque se diferencia en las dimensiones de las probetas muestreadas. Este ensayo se aplica a 8 probetas de los tableros de 3 capas (2 líneas).

Los requisitos mínimos normalizados para la resistencia al encolado de madera contralaminada son que el valor característico del esfuerzo cortante $f_{v,k}$, sea mayor o igual a 1,25 N/mm^2 y que la f_v de cada plano de encolado sea de 1 N/mm^2 como mínimo.

Además, se valora el porcentaje de fallo por madera (PFM) de las superficies de las probetas derivado como consecuencia del ensayo.

2) ***Ensayo de delaminación*** (**D**):

Se describe en el anexo C de la norma EN 16351. Las probetas deben ser cuadradas de 100x100 mm y del grosor del panel, cumpliendo el requisito de tener una superficie de al menos 10000 cm^2. Aunque las dimensiones de las muestras son diferentes, el ciclo de ensayo es el mismo establecido en el método B para la madera laminada encolada (EN 14080).

El proceso se fundamenta en un ciclo de vacío y presión realizado en autoclave con la finalidad de saturar la probeta de agua y posteriormente se aplica un secado forzado que produce tensiones en las líneas de cola, manifestando los posibles defectos de encolado. Estos se miden en longitud y se valoran visualmente.

El ensayo se realiza en 5 probetas de cada tablero CLT elegidas de forma representativa de superficie de la muestra.

Otra novedad introducida refiere a la evaluación de los planos de encolado. En los casos en que las delaminaciones totales (DT) y máxima (DM) (ecuaciones (1) y (2)) no cumplan los criterios establecidos (DM≤40% y DT≤10%), debe procederse a la apertura de todos los planos de encolado y valorar el porcentaje de fallo por madera (PFM) de las superficies cumpliendo que el PFM del peor plano debe ser ≥ 50% y para todos los planos debe ser ≥ 70%.

La delaminación total y máxima se obtiene de las ecuaciones (1) y (2).

$$DT = \frac{longitud\ total\ de\ delaminación}{\sum longitudes\ todas\ las\ líneas} x100$$	(1)
$$DM = \frac{longitud\ máxima\ de\ delaminación}{longitud\ total\ de\ una\ línea\ de\ cola} x100$$	(2)

RESULTADOS Y ANÁLISIS

La tabla 1 recoge los resultados obtenidos de los ensayos a cortante, siendo $f_{v,k}$ y CoV el valor característico y el coeficiente de variación para la tensión de la rotura, respectivamente. El cumplimiento según los requisitos de la norma EN 16351 se indica con C (cumple)/I (Incumple).

Tabla 1: Resultados por tablero del ensayo de cortante

Tablero	N	Tensión de rotura f_v (N/mm2)				Porcentaje de fallo por madera (%)	
		f_{vmedio}	CoV (%)	$f_{v,k}$	C/I	Media	CoV (%)
CLT1	16	2,40	27,88	1,30	C	81	16
CLT2	16	2,17	18,52	1,45	C	86	14
CLT3	16	2,23	26,44	1,32	C	81	15
CLT4	16	2,84	32,29	1,44	C	75	15
CLT5	16	2,26	30,24	1,24	I	87	13
TOTAL	80	2,38	27,01	1,35	C	82	15

En la tabla 1 se observa un incumplimiento (menor a 1,25 N/mm^2) en los valores característicos, no obstante, se produce por un valor mínimo que no sería un síntoma claro de fallo, pese a incumplir formalmente la especificación. Todos los planos de encolado de las probetas extraídas de CLT5, sí cumplen de forma individual la segunda condición (1 N/mm^2) y el valor de PFM es el más alto del muestreo.

En otros productos como madera laminada encolada y tableros, los valores de aceptación de cortante están relacionados con los valores de porcentaje de fallo por madera asociados a la línea. Así un valor bajo de resistencia teniendo un porcentaje de fallo por madera alto, podría asociarse, no a una deficiente calidad de encolado, sino a una posible menor calidad local de la madera en la probeta. Sin embargo, en la norma de CLT no se utiliza este criterio.

Analizando los resultados medios de porcentaje de fallo por madera obtenidos del estrudio, se deriva que no siempre los más bajos se corresponden con datos inferiores de resistencia obtenidos de la tensión de rotura. En definitiva, la evaluación del porcentaje de fallo por madera producido tras el ensayo a cortante no es indicativo exclusivamente de la calidad de encolado, pudiendo influir otros factores como la superficie encolada o la propia calidad de la madera, como ya apuntaran otros estudios [3].

Conviene señalar que el ensayo a cortante paralelo muestra variabilidades altas en sus resultados de tensión de rotura (CoV tabla 1), no siendo así en la evaluación de los porcentajes de fallo por madera.

La tabla 2 presenta los resultados del cumplimiento del ensayo de delaminación según lo establecido en la norma de madera contralaminada EN 16351.

Tabla 2: Resultados de la valoración por tablero del ensayo de delaminación

Tablero	Nº Probetas ensayadas	Nº probetas que cumplen Delaminación		Nº probetas que cumplen PFM por apertura de planos		Resultados finales
		DM	DT	Peor plano	Todos los planos	% de probetas correctas
CLT1	5	5	5	5	5	100
CLT2	5	5	1	5	5	100
CLT3	5	5	0	4	5	80
CLT4	5	5	2	5	5	100
CLT5	5	5	2	5	5	100
TOTAL	25	25	10	24	25	96

Los resultados obtenidos para este muestreo exponen que el 60% de las probetas (80% de los tableros) incumplen el requisito de la Delaminación Total, debiendo realizarse la segunda fase de apertura de planos. Es en ésta, donde casi la totalidad de las probetas cumplen los límites normativos. La evaluación realizada de esta manera permite valorar una mayor superficie de encolado y por tanto a priori es más idónea para determinar la calidad real del mismo.

Aunque la norma EN 16351 establece la realización del ensayo de delaminación o de cortante indistintamente, admitiendo la falta de correlación entre ellos e impidiendo la comparación de los resultados obtenidos por ambas metodologías, el ensayo de delaminación pudiera revelarse como un buen complemento para los ensayos de resistencia al esfuerzo cortante. Sin embargo, los datos iniciales de este estudio comprueban la ausencia de relación ya que los tableros que muestran peores resultados en resistencia al esfuerzo cortante (CLT1, CLT5), cumplen con los requisitos de delaminación, lo que además concuerda con otros estudios publicados (4).

CONCLUSIONES

- Respecto a las especificaciones mínimas de cortante, deberían establecerse mediante un valor característico derivado de la experiencia acumulada en el control, ya que se manifiesta que el hecho de que no cumplan los valores establecidos no podría considerarse, con la información disponible actualmente, indicador de un problema de fabricación.

- Los resultados de resistencia a esfuerzo cortante y el porcentaje de fallo por madera consecuencia del mismo, no siempre muestran una correspondencia clara entre ellos indicativa para la valoración de la calidad de encolado.

- Los ensayos de delaminación no han mostrado incumplimientos como resultado final, si bien ha sido necesario en muchos casos (60% de las probetas) recurrir a la

apertura de planos y su valoración del porcentaje de fallo por madera para obtener conclusiones.

Referencias

(1) EN 16351:2015, Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. CEN (European Committee for Standardization). Bruselas, Bélgica.
(2) EN 14080:2013, Timber structures. Glued laminated timber and glued solid timber. Requirements. CEN (European Committee for Standardization). Bruselas, Bélgica.
(3) Sikora, K.S.; McPolin, D.O.; Harte, A.M. Shear strength and durability testing of adhesive bonds in cross-laminated timber. *The journal of Adhesion.* **2015**, *92 (7-9),* 758-777.
(4) Steiger, R.; Arnold, M.; Risi, W. Integrity check of structural softwood glue lines: correspondence between delamination and block shear tests. *European Journal of Wood Products.* **2014**, *72,* 735-748.

Las uniones tradicionales de Madera

Autor Ponente; Makoto Isawa
E-mail ; soymakoto@gmail.com

Palabras clave: Unión Tradicional

Resumen

Japón es conocido por los edificios de madera sin clavos metálicos. Originariamente las piezas de los edificios de madera estaban unidas con hilos vegetales, cuando se empezaron a construir los templos sintoístas se comenzaron a usar las uniones tradicionales de madera. En la actualidad aún se usan algunas de ellas. La forma de estas uniones está cambiando, dependiendo de la época, y ahora existen muchos tipos de uniones tradicionales.

El primer edificio con uniones tradicionales, podría ser el templo de Ise que fue construido hace 2000 años. En esta época claramente no existía tecnología para fabricar hierros, fue entonces cuando se inventaron las uniones de madera para realizar el edificio. En el año 578, importaron la técnica constructiva desde Baekje (que actualmente forma parte de Corea del Sur) y construyeron varios templos. Uno de ellos es la pagoda de Horyu-ji, que es el edificio más antiguo del mundo que sigue en vigente. En el siglo VIII importaron desde Táng, (ahora forma parte de China) la técnica moderna de la época para construir Todai-ji, la puerta del templo era más grande que el Arco de Triunfo de Barcelona, y a partir de esa época se revolucionó la técnica dentro de Japón.

Con la historia de la construcción de madera, se puede entender que las técnicas no son solo de Japón, son además de los 2 grandes países de las correspondientes épocas. Pero cuando empecé a estudiar las uniones europeas, encontré que hay unas uniones muy parecidas en Europa y Japón. Por ejemplo, Empalme de Horquilla, Rayo Júpiter, cola de milano, etc. Algunas de ellas tienen la misma función en la construcción y otras se aplican de la misma manera, pero tienen funciones distintas. Por ejemplo, Rayo Júpiter aparece a menudo en el tirante de cercha en España, está resistiendo el esfuerzo de tracción que se ocurre en su mecanismo. En Japón usan una unión parecida en la viga, pero la colocan a 90º girada respecto a la española, porque la japonesa funciona teniendo más importancia a resistirse al momento. Ambos están muy bien pensados, depende de la función de cada estructura.

Las formas de las uniones dependen, en su mayoría, de las fuerzas que cargan y de las características de la madera y con el tiempo van evolucionando en su historia. Puede ser que una de las uniones primitivas es el Empalme de horquilla. Aparece muy

frecuente en los primeros edificios de Japón. Pero con el tiempo ha desaparecido y se convirtió en otras formas. En esos cambios, hubo muchos ensayos y estudios de carpinterías, y ahora están aprovechándolos para el estudio cronológico de edificios. Todavía en la construcción de madera, sobre todo en la parte de restauración, inventan unas uniones nuevas siguiendo las existentes para que no confundan las partes originales con las restauradas.

Además de sus funciones, las formas de estas uniones se utilizaban para la estética del edificio. En general en los edificios antiguos, se ve por donde se unen las piezas de madera, pero sin desmontar, es imposible de saber que empalme o que ensamble se aplicaron. Los carpinteros antiguos japoneses no dejaban a la vista las uniones, pero hace 300 años era la moda dejar a la vista como parte de la estética del edificio. El empalme de 4 colas de milano es el más representante de la moda.

Ahora es muy difícil construir un edificio únicamente con las uniones tradicionales debido a la normativa en Japón. Hay proyectos de edificios de madera con técnicas tradicionales, pero obligan a reforzarlas con uniones metálicas. La parte metálica no se ve desde fuera, pero cuando restauran los edificios, se observa la pudrición por condensación en los refuerzos metálicos. Aunque los edificios de madera en Japón son conocidos por construir sin clavos metálicos, realmente los usan en algunas partes donde es muy difícil de hacer uniones, por ejemplo, en tablas de madera para el suelo, en techos, paredes, etc. Pero cuando restauran estos edificios, normalmente se encuentran partes originales con clavos metálicos antiguos, que se llaman Hierro japonés, y con partes restauradas de la época Industrial con clavos de esa época. La pudrición de las partes originales está en mejor estado que las de la Época Industrial.

Ahora es el momento en el que hay que pensar cómo los construimos. Puede ser inventando uniones metálicas que no afecten tanto a la madera, o buscar la manera de cumplir la normativa. Hay un estudio de Kobayashi sobre las uniones tradicionales en Japón (2012), y dice que es posible que se adapte la unión tradicional a la normativa, si se considera bien el mecanismo resistente de la madera. Es como los carpinteros antiguos que resolvieron los problemas que se fueron encontrando, y así prolongaron la vida de los edificios de madera hasta nuestra época.

Referencias

(1) Estudio sobre uniones tradicionales en Japón; Ryohei Kobayashi 2012 Universidad de Tokio
(2) LES ASSEMBLAGES DES OSSATURES ET CHARPENTES EN BOIS; Manfred Gerner ISBN 2-212-11828-7

"La comunidad habitacional", viviendas sociales en la "Illa Glòries" con estructura de madera

Clara Vidal, Carlota de Gispert, Ivet Gasol
Cierto Estudio, C/ de les tres senyores, 40 Bajos
hola@ciertoestudio.com

Palabras clave: Cierto Estudio, concurso "Illa Glòries", vivienda social, estructura de madera

Resumen

Apostamos por la madera como material estructural, especialmente, en los edificios de vivienda plurifamiliar ubicados en centros urbanos, por sus amplias ventajas en distintos ámbitos de la construcción. En primer lugar, nos parece una necesidad básica empezar, de una vez por todas, a rendir cuentas con el medio ambiente. Es hora también de romper con los prejuicios erróneos asociados a este material. Des de nuestro punto de vista, la decisión de que la madera sea la estructura también viene dada por el proyecto e implica mejorar la arquitectura que proponemos en pro a una mayor flexibilidad del edificio a largo plazo y también para fomentar la salubridad de éstos, que afecta directamente a sus habitantes.

Hogar sano, corpore sano.

Cierto Estudio, un equipo de jóvenes arquitectas, junto con el arquitecto Franc Llonch han ganado el primer premio del concurso internacional de la Illa de les Glòries de Barcelona. Por ello, diseñarán el Plan Especial de Mejora Urbana (PEMU) de la manzana y construirán en una de las cuatro parcelas resultantes del plan. Las tres parcelas restantes estarán a cargo de los otros tres equipos ganadores del concurso, construyendo un total 280 viviendas de protección oficial.

"La Comunitat Habitacional", su propuesta para el concurso "Illa Glòries", propone dos volúmenes compactos unidos por un zócalo común que dan continuidad a la trama urbana, abriendo paso a un recorrido peatonal que nace en la Diagonal y desemboca en el acceso principal del Mercat dels Encants (Fig.1).

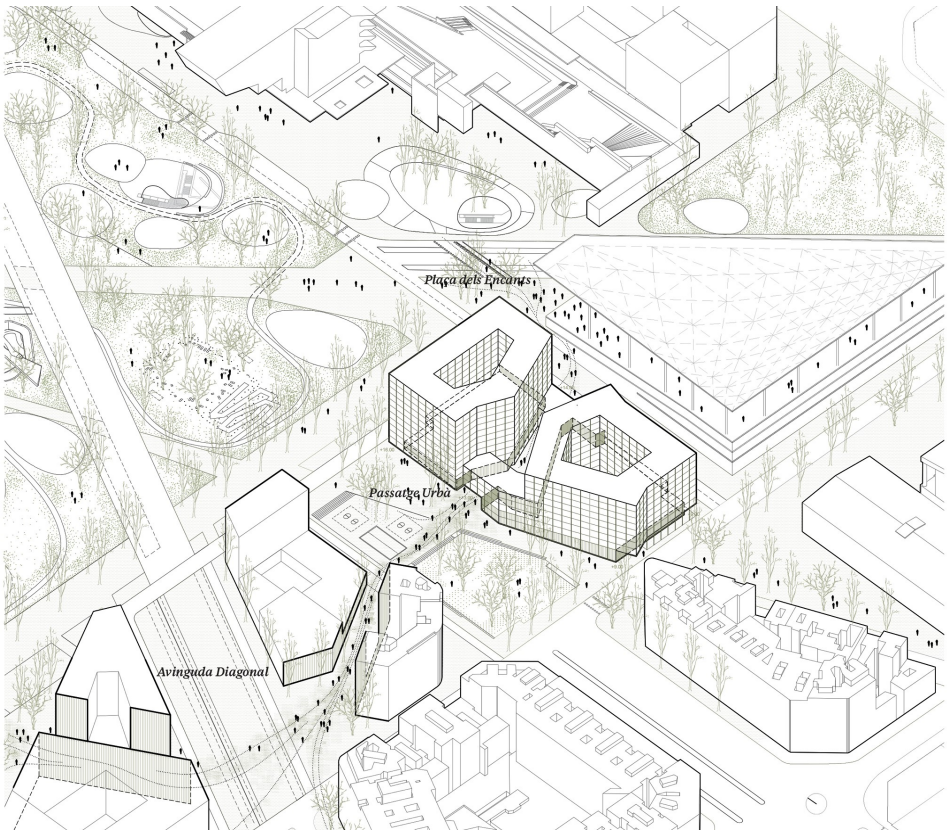


Fig. 1

El proyecto apuesta por la vivienda colectiva y por eso se accede a ella a través de un espacio comunitario generoso: la pasarela. Este espacio exterior es el lugar de encuentro entre los vecinos y relaciona las viviendas con los otros espacios comunes: el patio de acceso y la cubierta.

La vivienda se presenta como un abanico de estancias suficientemente ambiguas para que el habitante decida su uso, generando así una vivienda versátil capaz de adaptarse a su ciclo de vida de manera fácil y reversible -*No necesito un salón tan grande, en cambio, me gustaría tener una habitación más para que vengan mis hijos el fin de semana*- (Fig.2).

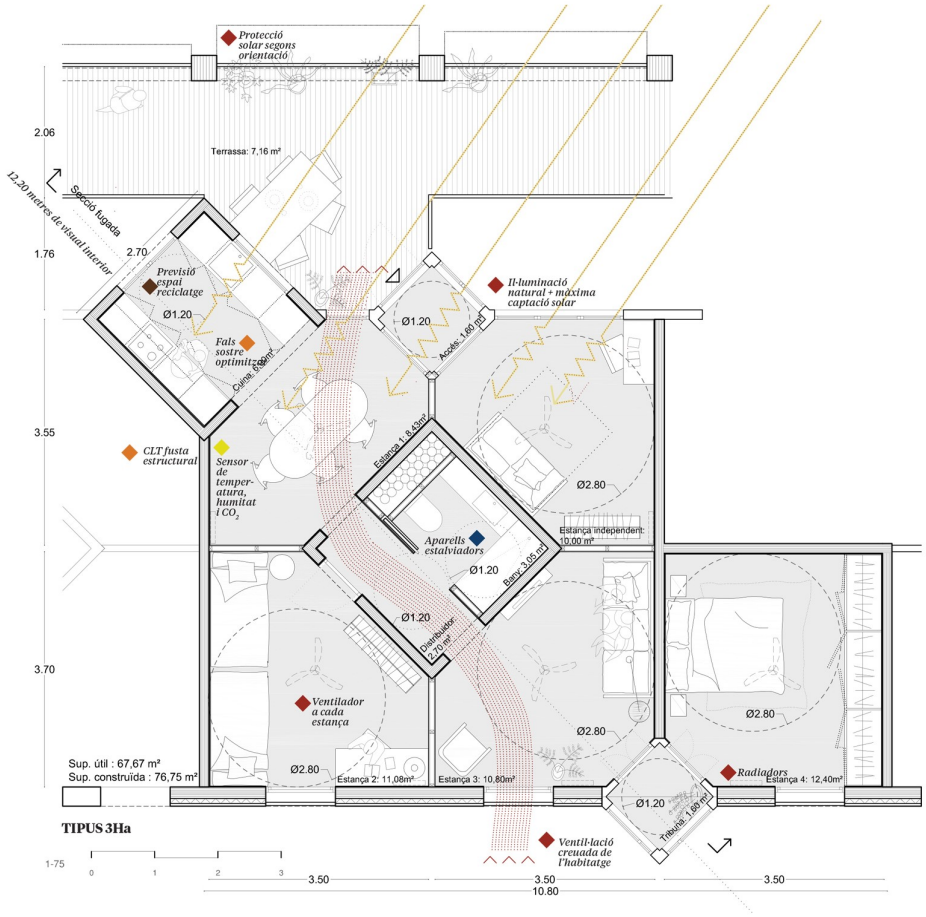


Fig. 2

Tratándose de vivienda especialmente protegida, ha sido prioritario tener en cuenta el problema de la pobreza energética, garantizando el confort en la vivienda con unos gastos energéticos aceptables para una renta de 426 €/mes. Además, se propone reducir el impacto medioambiental apostando por una estructura de madera, que reducirá al 50% las emisiones de CO2.

Apostamos por la madera como principal material de construcción del edificio por su alta capacidad estructural, su naturaleza sostenible, su aportación al confort ambiental del edificio y por las ventajas de la construcción en seco.

Tal y como pensamos el proyecto y, a pesar de que admite diferentes sistemas estructurales, consideramos que, a nivel conceptual, es más consecuente si se apuesta por la madera como sistema estructural. Con el esquema propuesto (Fig. 3) se potencia la flexibilidad de la vivienda a mediano plazo que buscábamos como premisa esencial. Se propone que las cajas que albergan los servicios (aquellas que menos variaran) sean estructurales de muros de CLT. También lo son las medianeras entre viviendas, permitiendo los pasos necesarios, si es que debe haberlos. La fachada a

norte, también se propone que sea de CLT con un acabado prefabricado de GRC. A sur, la pasarela se sustenta mediante pilares de madera contralaminada.

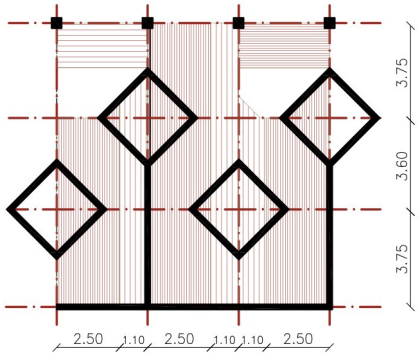


Fig. 3

El uso de la madera como material estructural juntamente con la industrialización y las soluciones en seco del sistema constructivo reducen en más del 50% el peso de residuos de la construcción. Habitualmente, los residuos suponen el 10-15% del peso del edificio.

Además, la estructura de madera (187 Kg/m2) pesa unas cinco veces menos que el hormigón armado (515 kg/m2) y, este hecho, permite que las estructuras de los sótanos deban soportar menos esfuerzos. Es también por este motivo que apostamos por una estructura en el aparcamiento que de opción a modificar el uso de este: La principal estrategia de movilidad ha sido plantear un futuro a los sótanos. En vista de que la normativa actual obliga a construir un espacio de aparcamiento, y del incierto futuro de éstos dada la necesaria reducción del uso del coche en las ciudades, se plantea una estructura flexible de grandes luces que daría un posible cambio de uso de estos espacios en el futuro. Así, un aparcamiento puede ser dentro de 20 años un polideportivo o una sala de conciertos. La forma más realista de proponer semejante idea es teniendo una estructura de madera encima.

Además, construir en madera permite realizar montajes de forma rápida, ligera, limpia y en ausencia de agua. Con un rápido retorno de la inversión para el promotor, por su corta ejecución en obra.

La madera, es también el único material con un balance positivo respeto a las emisiones de CO_2. Por último, añadimos que, adicionalmente, cierra su ciclo de vida: des de su extracción, transporte, desmontaje, derribo y hasta su reciclaje.

Por estos motivos, creemos profundamente que la estructura de madera aportará un valor significativo a este edificio de viviendas sociales en un área que será tan relevante de la ciudad de Barcelona.

Rompiendo las barreras de la construcción en madera

Jorge Blasco Miguel[a]
[a]Estudi m103, SLP, ACE, ETSAB-UPC; Avda. Madrid, nº 103-105 – entlo. 2ª
jorge.blasco@m103.es

Palabras clave: utilice un máximo de 5 palabras clave

Resumen

La madera ha sido tradicionalmente el material natural más utilizado por el ser humano. A lo largo de miles de años la madera se ha utilizado como leña para cocinar y calentarnos, en la construcción para fabricar viviendas y edificios, en la fabricación de diversos utensilios como cuencos o cucharones, para fabricar productos como, mobiliario o ataúdes y otros de gran importancia en la historia como su uso en la construcción de barcos.

En el Paleolítico, la humanidad, nómada, en primavera y verano construían pequeñas cabañas temporales de ramas, y cabañas más grandes y más resistentes, hechas con grandes ramas. En el Mesolítico se construyen las primeras chozas a orillas de los ríos, y se abandonan temporalmente las cuevas, viviéndose al aire libre en cabañas de madera y hojas. En el Neolítico aparecen las chozas de barro y cubiertas de madera y las construcciones palafíticas sobre pies derechos de madera…

Y aún hoy, la construcción en madera continúa generando algunas reticencias, aunque muchas de ellas basadas más en "mitos y leyendas", que en realidades. Lo que sí lo son, es la solidez de la madera como material para la construcción que le da una vida útil a la vivienda, resistente y muy duradera. Así, una construcción con estructura de madera podrá ser habitada y utilizada por varias generaciones, disfrutando así de todas las ventajas de habitar en madera y con unos bajos costes de mantenimiento.

Pero… ¿qué dudas se crean alrededor del uso de la madera para construir?

1. La Construcción en madera provoca Deforestación y empeora la calidad del aire

Realidad: no hay sistema constructivo más respetuoso con el medio ambiente que la construcción con madera.

La tendencia en Europa desde 1990 es que cada año la superficie total de bosque aumenta en 432.900 hectáreas (EUROSTAT, 2011).

En los últimos años según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las zonas forestales han disminuido, pero la pérdida neta de superficie forestal se ha reducido en un 50%. *Una de las principales causas de la deforestación es el cambio de uso de suelo para agricultura y plantaciones* como la palma (que genera el aceite de palma tan cotizado en la industria alimentaria y cosmética).

Una correcta gestión de los montes incluye y considera el rejuvenecimiento de la masa forestal mediante los aprovechamientos forestales. Un bosque sin tala con la que se aproveche su madera es un bosque que envejece con el tiempo. La salud del bosque no está ligada a que todos los árboles sean milenarios, si no que haya una riqueza tanto de especies, como de fauna y flora. La gestión y control por parte de los especialistas, es la mejor forma de permitir un futuro seguro y sano al bosque, pues la protección no se halla en abandonar su uso maderero, si no en enriquecer con las actividades que se produzcan, una alta diversidad y una riqueza ecológica.

2. La Construcción en madera tiene poca Durabilidad

Realidad: todavía no se conoce un material equiparable en duración a la madera que soporte tracción, compresión, flexión. La madera es durable y resiste climas extremos. Previamente tratada y con adecuado mantenimiento es prácticamente inmune a insectos y humedad.

La madera, es de los pocos materiales de construcción testificados históricamente que, si no ha sido afectada por agentes externos, mantiene sus propiedades físicas y resistencias intactas, a lo largo de las décadas e incluso siglos.

Pensemos en construcciones del norte de Europa (las iglesias Vikingas), de Oriente (templos y pagodas chinas y japonesas), con siglos de pervivencia; o en construcciones industriales (nave almacén sales de potasa en Cardona) frente a agresividad de agentes externos.

3. La Construcción en madera es poco Resistente

Realidad: En proporción con su peso la estructura de madera tiene muy elevada resistencia a la flexión, lo cual permite construir estructuras más ligeras. La relación resistencia/peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces a la del hormigón.

Hay especies de madera que no tienen que envidiar en resistencia a compresión y flexión al hormigón. Recordemos que es el primer material de construcción que soporta compresiones, tracciones y flexiones. Frente acciones horizontales, al ser más dúctil, se comporta mejor.

4. La Construcción en madera se quema y no es resistente frente al fuego

Realidad: La madera es un material estructural que a la vez es combustible, pero es el único que resiste más en situación de incendio que en situación normal. La capa exterior carbonizada, 6 veces más aislante térmicamente que la propia madera, protege el interior, que permanece intacto.

Los edificios con estructuras de madera deben cumplir con la normativa y reglamentos de fuego igual que todos los otros tipos de construcción y por lo tanto no representan riesgo mayor para sus habitantes.

La madera frente al fuego no pierde resistencia, pierde sección.

5. Son construcciones muy calurosas y/o frías

Realidad: Una de las grandes ventajas de las casas de madera es su alto nivel de aislamiento térmico. En España, el aislamiento debe proteger tanto frente a un frío extremo como frente a un calor asfixiante.

Las certificaciones verdes de eficiencia energética como GBC, Leed, o el estándar de construcción Passivhaus (mediterráneo), tienen en la madera un buen aliado para conseguir las más altas calificaciones.

6. Son construcciones muy ruidosas

Realidad: La ley de masas es fundamental, pero con un correcto diseño se alcanzan los niveles requeridos. Puede funcionar como acondicionador acústico en combinación con productos aislantes. Frente a la reverberación, son materiales fantásticos.

Una estructura porosa como la de la madera, absorbe energía mecánica transportada por las ondas del sonido que se transforman en calor por el rozamiento, es decir, la madera por su composición porosa absorbe las ondas y las transforma, haciendo más difícil que la atraviesen y convirtiéndose por ello en buen aislante acústico

7. Son construcciones “tradicionales”

Realidad: No sólo se hacen casitas del oeste y bungalows. Las tipologías de edificación con estructura de madera se adecúan a cualquier uso y construcción actual.

Pueden observarse ejemplos de Arquitectura en madera como referentes (Renzo Piano, Frei Otto, Shigeru Ban,…).

8. Son construcciones pequeñas

Realidad: Se han realizado hasta la fecha construcciones hasta de 8-9 plantas, y en cartera hay …. *rascacielos*. Ya se han alcanzado en España las 6 plantas de CLT, en Europa ya encontramos edificaciones de 16 plantas; en Canadá, ya hay un edificio de 18 plantas.

Y en horizontal, ya en 1962 se alcanzaban luces de 100 m en arcos de madera laminada.

9. Son construcciones con un coste mayor

Realidad: En este momento, todavía es más cara la construcción en madera, aunque su inferior peso disminuye costes (p.ej. cimentación), y su mejor comportamiento térmico y energético, hacen que su amortización sea rápida,

En el momento que sumamos estructura, cerramientos, acabados y funcionamiento durante su vida útil, los precios de ejecución y mantenimiento pueden llegar a ser menores que construcciones tradicionales en hormigón y acero.

10. La salud es primordial

Realidad: Se desconocen ejemplos de edificios de madera con el SEE (síndrome del edificio enfermo – OMS 1982). Entre las causas se encuentran la presencia de sustancias tóxicas procedentes de materiales de construcción.

Estudios evidencian que la madera contiene propiedades que favorecen un estilo de vida saludable y por tanto, mejoran nuestra calidad de vida. Por eso, rodearnos de madera en nuestra vida cotidiana nos permite disfrutar de un mayor bienestar.

La madera nos lleva directamente a la idea de naturaleza, que evoca sensaciones positivas como la tranquilidad, el bienestar. Nos conecta con nuestra esencia natural ancestral.

Una construcción segura no es sólo aquella que no se cae, si no también, la que nos evita problemas futuros o nos garantiza un ambiente sano.

11. Usos de la madera en la construcción

Con madera podemos cubrir casi todos los campos de la edificación: estructura, cerramientos, particiones, aislamientos,…

De todas formas, no hay que ser un “talibán” de la madera: No es imprescindible que una casa esté realizada íntegramente con productos de madera o derivados de la misma. Hay más de un estudio que nos indica que en la mezcla de materiales, técnicas,… se encuentra el equilibrio. Juntamente con la salud, es lo que nos lleva a la bioconstrucción.

12. Ventajas ambientales. Disminución impactos ambientales

El tiempo de construcción, la maquinaria que posee la empresa constructora y su experiencia en el sector, el mantenimiento de dicha estructura o la prevención de la misma, la generación de empleo y riqueza local.

Factores ecológicos: elementos reciclables y reciclados, el bajo impacto ambiental y la toxicidad de los elementos colocados, eliminación de residuos…

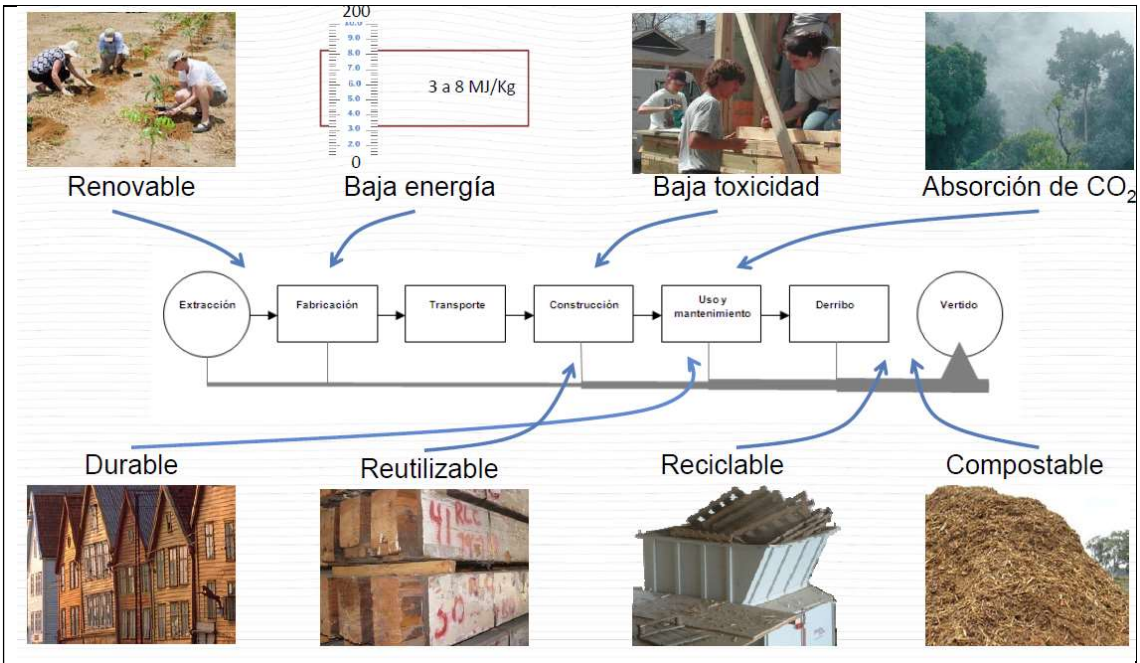


Figura 1. Ventajas ambientales. Ciclo complete de la madera: elemento biodegradable verdadero

Fuente: Impulsos Pro:Holz

Building Energy Renovation through Timber Prefabricated Modules (BERTIM)

Natalia Lasarte[a], Unai Gorroño[b], Josu Benito[a], Nestor Piris[b]
[a]TECNALIA R&I, Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia - C/Geldo, Edificio 700. E-48160 Derio (Bizkaia); [b]EGOIN, Barrio Olagorta, S/N, 48311 Natxitua (Bizkaia).
josu.benito@tecnalia.com

Palabras clave: Madera, rehabilitación, prefabricación, BIM, Eficiencia Energética

Resumen

BERTIM *"Building Energy Renovation through Timber Prefabricated Modules (BERTIM*)" es un proyecto financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea. El proyecto desarrolla una metodología holística para rehabilitación de edificios mediante estructuras modulares de madera que integran tanto el aislamiento de las fachadas, como los elementos de carpinterías y los sistemas de instalaciones y renovables. De forma específica el proyecto desarrolla una solución prefabricada que proporciona la oportunidad de rehabilitar mejorando el rendimiento energético, la calidad del aire, la estética, la comodidad y, al mismo tiempo, el valor de la propiedad, garantizando una baja intrusión durante los trabajos de rehabilitación

En el proyecto BERTIM, que comenzó el 1 de junio de 2015 y dura cuatro años, participan 12 socios europeos divididos por geoclusters de forma que las distintas regiones climáticas de Europa están representadas. Los socios son expertos en las distintas disciplinas que intervienen en el proyecto: diseño en madera, fabricación en serie, rehabilitación, certificación, eficiencia energética, instalación automatizada, herramientas BIM e interoperabilidad, software de fabricación para industria de madera, entornos digitales, planes de explotación, etc.

El sector de la construcción tiene un enorme impacto sobre nuestro medio ambiente y la influencia de la eficiencia energética en la sostenibilidad es ya ampliamente conocida. Alrededor del 40% del consumo total de energía en Europa está relacionado con el sector de la construcción y representa alrededor de 1/3 de las emisiones de CO2 de Europa (1). Más del 50% de todos los materiales extraídos de la tierra y el 25% de toda la madera virgen (2) se transforman en productos y materiales de construcción. Si el sector de la construcción contribuye de manera significativa al objetivo del 90% de reducción de gases de efecto invernadero para 2050 (3), cada edificio, en promedio, tendrá que demostrar niveles muy bajos de emisiones de carbono y consumir muy poca energía en el contexto de un sector energético sin carbono (4).

En respuesta a los retos antes mencionados BERTIM proporciona: Módulos prefabricados de elevada eficiencia energética para rehabilitaciones integrales, integrando ventanas, materiales aislantes, sistemas de climatización colectivos, sistemas de energías renovables y sistemas de suministro de energía. Los módulos se basan en la madera y otros materiales reciclables con una baja huella de carbono. El sistema de ensamblaje con el edificio existente garantiza un corto periodo de instalación, reduciendo las molestias a los inquilinos, así como la utilización de medios auxiliares costosos como el andamiaje.

BERTIM tiene como objetivo específico el desarrollo de un producto estandarizado en madera para una rehabilitación energéticamente eficiente en la construcción. El producto se podrá adaptar en función de las necesidades de aislamiento de las distintas zonas climáticas, sin embargo, el diseño general de los módulos y el proceso de prefabricación será único.

Las soluciones se sustentan en un proceso de fabricación y ejecución industrializado combinado con el desarrollo de una plataforma basada en BIM y Web3D, que da soporte al proceso, incluyendo capacidades de simulación energética y toma de decisiones e integrándose en el flujo de trabajo habitual mediante la interoperabilidad con herramientas existentes (diseño, simulación, fabricación, etc.). El sistema BERTIM, que incluye módulos 2D para rehabilitación de fachadas, con o sin instalaciones embebidas, y módulos 3D para albergar uso residencial o de instalaciones a colocar en cubierta, permite una renovación integral del edificio desde el exterior, lo que reduce significativamente la intrusión durante los trabajos de rehabilitación.

La innovadora metodología holística del proceso de rehabilitación que, desde la recopilación de datos hasta la instalación tiene por objeto la mejora de los procesos actuales de los fabricantes de madera, las empresas de construcción con madera y de los instaladores. Para ello, se ha definido un flujo de trabajo digital para todo el proceso a fin de mejorar la eficiencia y la exactitud del proceso de fabricación en serie. Con el objetivo de mejorar y optimizar el proceso de rehabilitación, se ha desarrollado una herramienta de diseño del proyecto de rehabilitación, orientada a su integración en las PYMEs, integrando BIM con herramientas CAD / CAM y asegurando la interoperabilidad con máquinas CNC para procesos de fabricación en serie.

El proyecto BERTIMse encuentra en estos momentos en la fase de validación de los prototipos de los módulos. El pasado diciembre de 2016 se instaló en el edificio experimental de Tecnalia, Kubik, el prototipo de panel BERTIM, fabricado por la empresa vasca líder en el sector maderero EGOIN (http://egoin.es/), Se presentan a continuación esquemas del diseño de los paneles que se han implementado en Kubik.

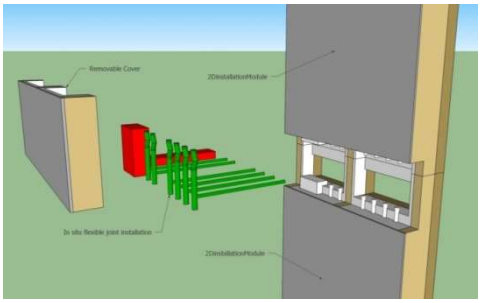


Figura 3. Esquema panel instalaciones

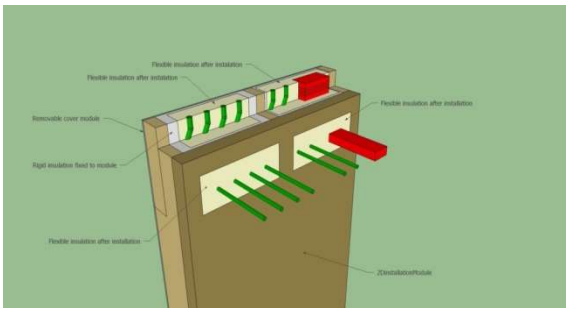


Figura 4. Esquema panel instalaciones

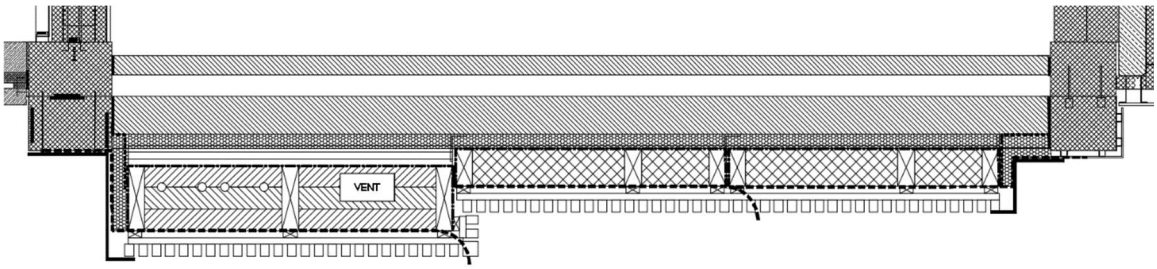


Figura 5. Sección horizontal del montaje en KUBIK del panel estándar y de instalaciones

El prototipo, fabricado íntegramente en las instalaciones de EGOIN, está constituido por perfiles de madera (estructura de entramado ligero), aislamiento de lana de roca, tablero OSB y acabado en emparrillado de madera. Incluye además una variante que alberga un módulo de instalaciones embebidas en el propio panel (calefacción y ventilación), que puede ser registrable para mantenimiento mediante los registros dispuestos para ello.



Figura 6. Fabricación de panel estándar en EGOIN



Figura 7. Fabricación de panel de instalaciones en EGOIN

El montaje en Kubik de este prototipo se ha realizado sobre un cerramiento de ladrillo de doble hoja, que simula una fachada típica de un edificio anterior a los años 80, que necesita ser rehabilitado para mejorar su eficiencia energética. La instalación de este

prototipo sobre una instalación real ha permitido ver las dificultades técnicas y económicas en la fabricación, transporte y montaje del producto ya que uno de los objetivos del proyecto es alcanzar un elevado grado de industrialización del producto, de forma que se consigan reducir los tiempos de fabricación y montaje a un 30% rsoecto de los sistemas tradicionales de rehabilitación de fachadas.



Figura 8. Montaje panel instalaciones en KUBIK



Figura 9. Montaje panel estándar en KUBIK

El video del proceso de fabricación y montaje de los prototipos puede verse en https://www.youtube.com/watch?v=bAT7Mz8qNoM&feature=youtu.be

Además de comprobar que el proceso es viable, el objetivo de instalar el prototipo en Kubik es cuantificar la mejora del comportamiento térmico de la nueva envolvente respecto a la existente mediante la monitorización de su comportamiento térmico, así como la evaluación de las pérdidas energéticas en los circuitos que discurren por el panel de instalaciones. Bajo estas líneas pueden verse unas imágenes de uno de los registros del panel de instalaciones, la instalación interior de ACS monitorizada (perdida de calor y consumo de energía) y la posición de los sensores térmicos en la fachada.



Figura 10. Registro entre paneles de instalaciones



Figura 11. Instalación interior de ACS

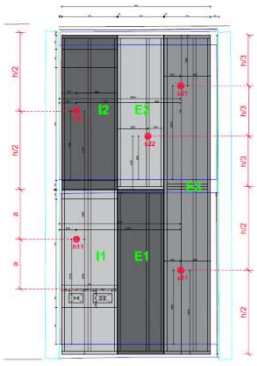


Figura 12. Posición de sensores en fachada

Se presenta a continuación imagenes de la fachada complétamente instalada, con los registros de instalaciones abiertos en una de las imágenes.

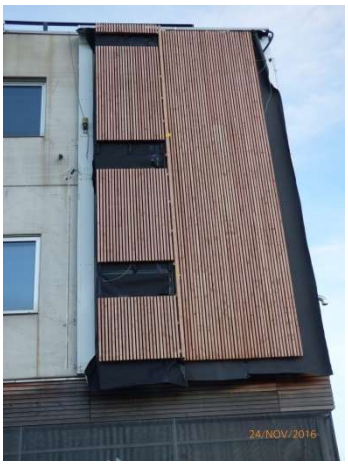


Figura 13. Módulo de instalaciones con registros abiertos



Figura 14. Fachada terminada



Figura 15. Fachada terminada

Una vez validada la implantación en Kubik, como punto de partida a la comercialización del producto, los paneles se instalarán en demostradores reales que abarcan distintas condiciones climáticas, en Charite sur Loire (FR) y Oslo (NO), y además se demostrará la viabilidad de todo el proceso mediante un demostrador virtual situado en Madrid (ES).

Referencias

(1) European Union Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD2002/91/EC)
(2) WorldWatch Insitute http://www.worldwatch.org
(3) A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (EU 2050 Roadmap)
(4) Europe's buildings under the microscope. BPIE

Análisis del comportamiento estructural de uniones de madera sometidas a la acción del fuego

Juan Enrique Martinez-Martinez[a], Felipe Pedro Álvarez Rabanal[a], Juan José del Coz Díaz[a], Alfonso G. Lozano Martínez-Luengas[a], Mar Alonso-Martinez[a], Rubén Regueira Gay[b]
[a]Universidad de Oviedo, Edificio Dptal Oeste 7 Campus de Viesques, Gijón, Asturias;
[b]Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Ingeniería Agroforestal, Campus de Lugo, Lugo
quique@construu.uniovi.es

Palabras clave: madera estructural; uniones de madera; resistencia a fuego; ensayo experimental.

Resumen.

En situación de incendio, los elementos estructurales de madera sufren una degradación térmica, provocando una transformación del material y una disminución progresiva de su sección resistente. En este sentido, el comportamiento estructural de los elementos de madera se ve reducido. Sin embargo, esta carbonización del material funciona como aislante térmico, favoreciendo que la zona más interior de la madera no incremente su temperatura de inmediato.
En este trabajo se muestra el estudio experimental del comportamiento estructural de uniones de cola de milano redondeada en la madera cuando se encuentran sometidas a la acción de un fuego y a una carga constante.

Introducción.

La madera es un material de construcción óptimo desde un punto de vista ecológico y de sostenibilidad. No obstante, ante un incendio las estructuras de madera sufren una degradación térmica provocando una disminución de su sección resistente.

La madera presenta una particularidad bajo condiciones de incendio, que es la transformación de las capas externas en madera carbonizada, cuyo espesor crece durante el incendio. En estas capas externas la madera original se convierte en un material distinto al de partida y por tanto con unas propiedades térmicas y mecánicas diferentes.

Desde el punto de vista térmico esta capa carbonizada funciona como aislante, provocando que la zona interior de la madera no incremente su temperatura de manera drástica y reduciendo la velocidad de la carbonización. Por otro lado, desde el punto de vista estructural, esta capa carbonizada no posee capacidades resistentes, por lo que la capacidad portante de la estructura de madera se reduce y está determinada por la sección de la madera sin carbonizar.

Un aspecto relevante a estudiar en el comportamiento a fuego de estas estructuras de madera son las uniones entre los elementos. Tanto la normativa de construcción con madera europea (Eurocódigo) (1) como la española (Código Técnico de la Edificación) (2) ofrecen soporte al cálculo en situación de incendio de un elemento estructural aislado, y ofrecen unas directrices básicas de dimensionamiento para para las uniones con clavija, pero no lo hacen para las uniones denominadas tradicionales o carpinteras, en las que no intervienen clavijas. Un tipo de unión de este tipo es la denominada unión en cola de milano redondeada.

El objeto de este artículo es describir el método de ensayo utilizado para determinar el comportamiento de uniones de cola de milano redondeada en la madera cuando se encuentran sometidas a una curva de calentamiento normalizada, indicada en la norma UNE-EN 1363-1 (3).

Estudio experimental.

En este estudio experimental se han realizado ensayos de resistencia al fuego sobre estructuras de madera laminada de pícea ensambladas mediante uniones de cola de milano redondeadas de manera que se pueda determinar su comportamiento en situación de incendio.

Las estructuras de madera estudiadas están formadas por una vigueta con una espiga tallada en cada extremo y por dos vigas con una mortaja en el centro para colocar la vigueta. Las dimensiones y la conexión del conjunto se ven en la Fig. 1 a). La unión entre la vigueta central y las dos vigas se realiza mediante una cola de milano redondeada, ver Fig. 1 b).

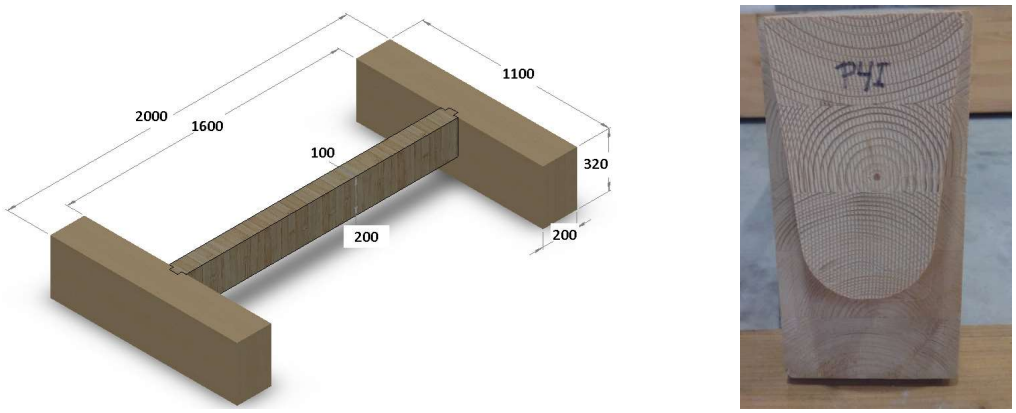
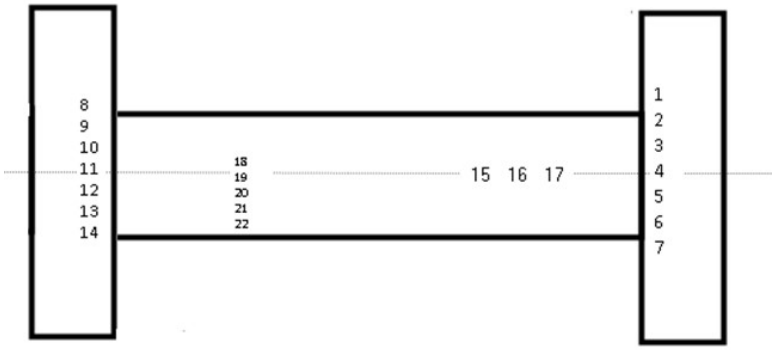


Figura 1 a) Dimensiones y montaje de la estructura de madera; b) detalle unión en cola de milano

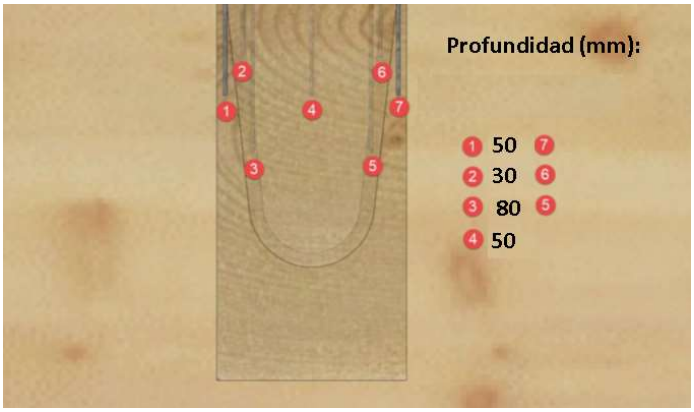
Para medir la temperatura en el interior de la unión de madera, se utilizan 22 termopares de temperatura tipo K, que se encuentran repartidos a lo largo de conjunto, 8 en la vigueta y 7 en cada uno de los apoyos de la unión viga-vigueta (Fig. 2 a).

Los termopares en la unión de la cola de milano y en la vigueta se colocan a distintas profundidades, de manera que se pueda conocer la distribución de temperaturas

alrededor de la espiga (Fig. 2 b). Para aplicar una carga constante sobre el conjunto durante todo el ensayo, se utiliza un actuador que permite realizar dicha función.



a) Colocación de los termopares en el conjunto (vista en planta).



b) Disposición y profundidad de los termopares en la espiga.

Figura 2 Disposición de los termopares en las uniones a ensayar

Metodología de ensayo.

El procedimiento de ensayo seguido se basa en la normativa vigente (1), (3) y (4) que permite conocer el comportamiento de elementos estructurales de madera cuando se encuentran sometidos a fuego en condiciones definidas de calentamiento.
La metodología seguida en estos ensayos experimentales es la que se describe a continuación:

1. Se colocan y se recubren con lana cerámica los termopares de medición de temperatura en las distintas posiciones de la estructura de madera a ensayar. (Fig. 3 a).
2. Se cierra el horno para evitar la expulsión de los gases y se coloca el cilindro de carga en el centro de la viga. (Fig. 3 b).
3. Se inicia el ensayo.
    - En primer lugar, se aplica durante 15 minutos de manera constante una fuerza sobre la estructura de madera, equivalente a una carga de uso determinada mediante ensayos previos a temperatura ambiente
    - Pasados 15 minutos se inicia la curva de calentamiento establecida en la normativa (3).

4. El ensayo finaliza cuando la flecha máxima supera $L_{vigueta}/30$.



Figura 3 a) Montaje de la estructura de madera. b) Cilindro de carga. c) Montaje completo en el horno de ensayos (Universidad de Oviedo, GICONSIME Research Group).

Resultados y conclusiones.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos. El tiempo medio de resistencia al fuego de las estructuras ensayadas ha sido de 13 minutos. La finalización del ensayo se produce cuando flecha máxima permitida es superada, debido fundamentalmente al fallo que se produce en una de las uniones en cola de milano (Fig. 5).

Las temperaturas registradas por los termopares colocados en unión en cola de milano se muestran en la Fig. 4. En esta gráfica se aprecia como los termopares colocados en el exterior registran mayores temperaturas que los que se encuentran en la zona interior.

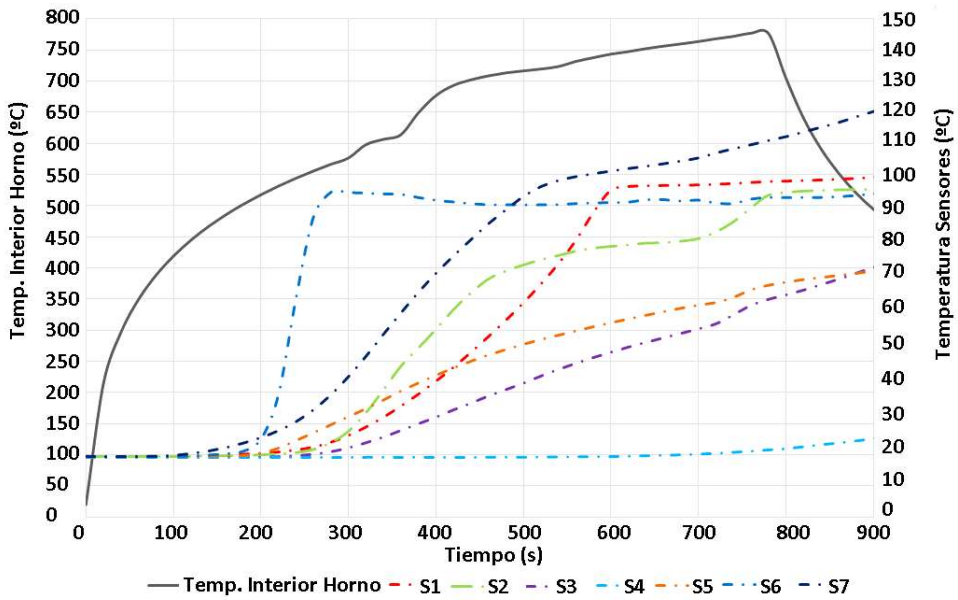


Figura 4 Gráfico de los valores de temperatura registrados en la cola de milano donde se produce el fallo.

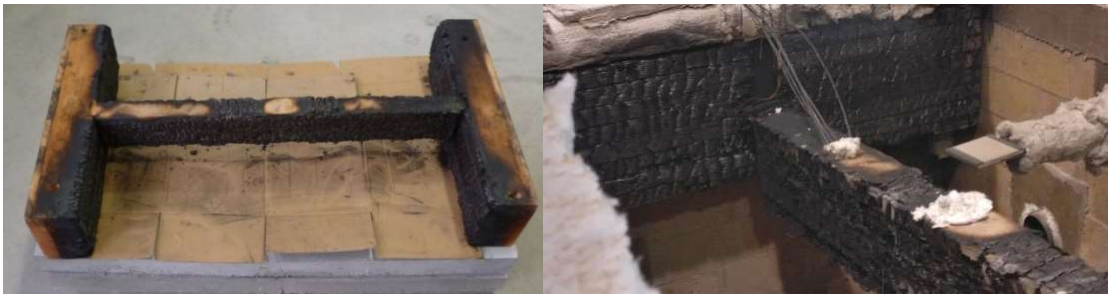


Figura 5 a) Vista del conjunto tras el ensayo y b) detalle del fallo en la cola de milano.

La principal conclusión que se puede extraer de los resultados obtenidos es que, para una carga mecánica equivalente a la estándar de cálculo para una edificación de uso residencial, no se puede garantizar que un sistema estructural formado por vigas y viguetas ensambladas según se ha descrito, garantice la integridad estructural requerida R30, dado que el tiempo medio de fallo fue de 13 minutos.
Se hace necesaria una campaña de ensayos extensa, con diferentes configuraciones en cuanto a: valores de carga, parámetros geométricos que definan la espiga y la mortaja; ausencia / presencia de clavija metálica de refuerzo en la unión; para poder determinar con mayor seguridad el cumplimiento o no de los requisitos de seguridad en caso de incendio de la normativa española y europea.

Líneas futuras de investigación.

A la vista de los resultados obtenidos, se plantea como línea de investigación la realización de un mayor número de ensayos experimentales con diferentes geometrías en la unión de cola de milano, así como realizar simulaciones numéricas que permitan determinar con precisión el comportamiento estructural de las uniones de madera en situación de incendio.

Agradecimientos.

Los autores agradecen la financiación de este trabajo a través del proyecto GRUPIN14-004 cofinanciado con fondos FEDER; al grupo de investigación GICONSIME de la Universidad de Oviedo, a la Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural (PEMADE) de la Universidad de Santiago de Compostela y a la empresa Maderas Besterio.

Referencias

(1) UNE-EN 1995-1-2. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras de sometidas al fuego. *AENOR (2016)*
(2) DB-SI. Documento Básico. Seguridad en caso de Incendio. (2010)
(3) UNE-EN 1363-1. Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales. AENOR (2016)
(4) UNE-EN 1991-1-2. Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte1-2: Acciones generales. Acciones en estructuras expuestas al fuego. *AENOR (2004)*

Farhaus AF1 - Sistema modular en madera

Autor: Fargas Arquitectes FGRM slp.,
Autor Ponente: Marc Romero Puente, arquitecto
Dirección: Calle Lepant, 7 08242 Manresa
E-mail: romero@fgrm.cat

Resumen

Objetivos. – "*¿porque no concibes un edificio lo suficientemente grande que permita moverse libremente y no en una dirección predeterminada? No sabemos si las personas lo utilizarán como hemos deseado. En primer lugar, las funciones no son claras, tampoco son constantes, cambian más rápido que el edificio*." Mies Van der Rohe.
Consideramos que un edificio ha de ser el producto esencial que resulta de las ingenierías definiendo espacios sensibles a las referencias de un contexto, aptos a la diversidad y versatilidad que permita prolongar su vida útil a una sociedad en continua evolución, y preocupada por la sostenibilidad. Un edificio ha de adaptarse, con precisión, a una función cambiante en un lugar que perdura. Lo más sostenible es aquello que el tiempo no deja obsoleto y que su mutabilidad le permite adaptarse a nuevas condiciones.
De las tipologías constructivas utilizando madera para construir una vivienda, vimos que se podían resumir a: Una estructura de barras múltiples configurando un esqueleto a recubrir; unas panelas manipulables, recortadas en taller y montadas en obra, como si de una maqueta a escala real se tratara; o unos módulos acabados y transportables, únicamente pendientes de desplazar, fijar y ensamblar. Ninguna de ellas nos daba la solución constructiva a los espacios deseados acordes con nuestra idea de arquitectura. Sus limitaciones estructurales, entre otras, lo impedían y por ello, estudiamos un sistema constructivo siguiendo nuestra forma de trabajo basada en que la pretensión de acercarnos al verdadero sentido de las cosas, a su verdad; nos conduce a la simplicidad, a perseverar rigurosamente en la elección del gesto más primario, del que transmite la más tranquila sensación de orden, y con los mínimos elementos siempre expresando la esencia de lo que son y porque son. La riqueza de materiales, las formas espectaculares o el uso y abuso de complejas soluciones constructivas no son garantía de calidad. La propuesta más interesante no es la que más tiene, sino la que puede prescindir de más cosas sin perder la dignidad, la que se mantiene en la austeridad sin desviarse de la necesidad estricta, la que resiste a las tentaciones de los escenarios sofisticados propiciados por entes comerciales e instituciones públicas.
Conclusiones o resultado. –. Sistema constructivo para dos plantas rectangulares en altura, en este caso dimensionadas definiendo un cuadrado; a partir de pórticos estructurales hiperestáticos de 9,5 metros de luz, construidos con elementos verticales prefabricados en taller para facilitar la calidad de la construcción y rapidez de montaje en obra, los cuales, a la vez, actúan de cerramiento de costados opuestos favoreciendo la transparencia de los otros dos. Una disposición ordenada, respetando un módulo,

permite estandarizar y optimizar elementos con un resultado del que se ha podido testificar, cumple los requisitos para obtener el certificado *Passivhaus*.

Arquitectura

"*¿porque no concibes un edificio lo suficientemente grande que permita moverse libremente y no en una dirección predeterminada? No sabemos si las personas lo utilizarán como hemos deseado. En primer lugar, las funciones no son claras, tampoco son constantes, cambian más rápido que el edificio*." Mies Van der Rohe.

Planteamos la Arquitectura a partir de la idea de valorar la honestidad constructiva basada en la jerarquización de elementos i del criterio de considerar que, en esencia, una obra es y se ha de ver como una estructura con lógica propia que busca neutralidad, diluyendo en la repetición según un orden, la singularidad, excepcionalidad y figuración de los elementos que la componen, favoreciendo la comprensión, apropiación y expresión de la globalidad con todos sus atributos.

Consideramos que un edificio es, el resultado esencial de las ingenierías, definiendo unos espacios sensibles a las referencias del contexto, y preparados para la diversidad y versatilidad que permite alargar su vida útil a una sociedad en continua evolución y preocupada por la sostenibilidad.






Un edificio debe adaptarse, con precisión, a una función que cambia en un lugar que perdura. Lo que solo se ajusta a necesidades momentáneas, es considerado complementario, efímero y prescindible, por lo que ocupa un segundo orden dentro de la jerarquía de los elementos que materializan la obra, sin intervenir en aquello que define su personalidad y carácter.

Esta manera de entender y trabajar el hecho constructivo lleva asociada la necesidad lógica de trabajar con los materiales de manera que se aprovechen al máximo todas sus capacidades

Así, tanto en una casa de madera como en una casa de hormigón el planteamiento de partida debe de ser aquel que aprovechando el máximo rendimiento del material nos permita a obtener espacios con el mínimo condicionamiento generado por elementos estructurales o de otras ingenierías que puedan dificultar la adaptabilidad al cambio, llegando así al concepto clave de sostenibilidad. Lo más sostenible es lo que el tiempo

no deja obsoleto y que tiene mutabilidad suficiente para adaptarse a las nuevas condiciones que se puedan generar.

Estos criterios, transversales en nuestra manera de trabajar han estado presentes en las propuestas y proyectos redactados de manera independiente de la escala i materiales de construcción planteados.



En el encargo de una vivienda unifamiliar de madera no se quiso renunciar a ninguno de estos planteamientos. Es más, el reto se encajó queriendo dar un paso más, definiendo un prototipo de modelo estructural y de coordinación con las ingenierías estandarizables.

Una casa de madera

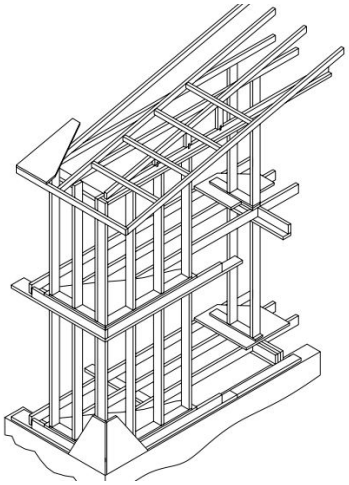
Encargo

-No se encarga directamente una casa de madera.
-La casa contigua 20 años más antigua para el mismo promotor no es de madera.
-Las dudas:
Riesgos.
Limitaciones en relación al tipo de espacios y dimensiones de ellos.
-Análisis de las tipologías habituales en madera.









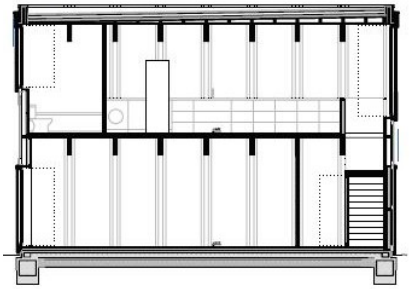
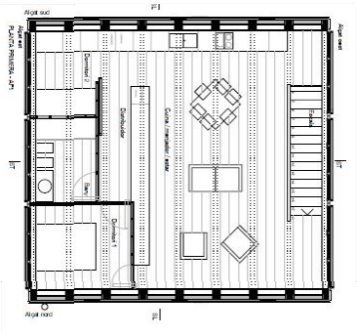
El sistema

-Estructura hiperestática Resolución de nudos
-Tipo de piezas y prefabricación de elementos.
-Facilidad de torneo y trabajo de las piezas.
-Elementos prefabricados de fácil transporte y manejo en obra.
-Soluciones sencillas, pero no simples.
-Necesidad de coordinación con la resolución de los servicios e ingenierías.

Resolución funcional

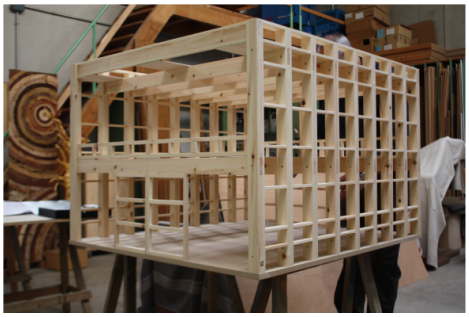
- ¿Cómo se ocupa inicialmente el espacio? Distribución inicial de la casa
- ¿Qué acabado exterior queremos? ¿Cómo nos vestimos?



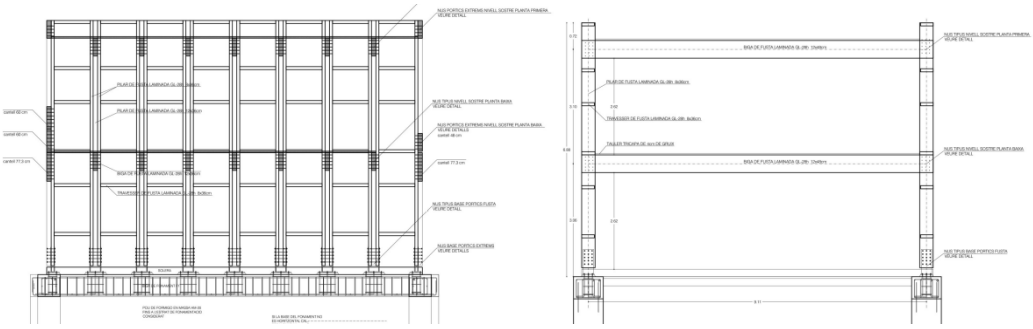



La estructura

- Se propone una estructura de madera GL-28h basada en un pórtico 9,5 metros de luz y dos plantas.



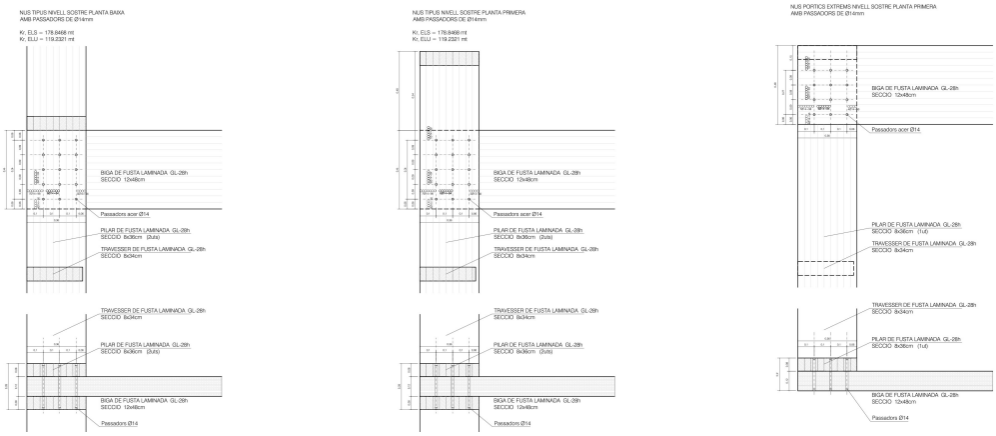

- El pórtico se resuelve como pórtico hiperestático de manera que se saca el máximo partido a la sección de la biga en el apoyo que se convierte en empotramiento.



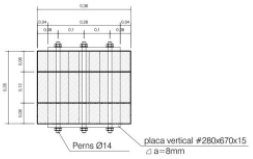
- El dimensionado de la biga es 12x48 y los pilares 8x36. A fin de dar continuidad al pilar en las dos plantas y permitir la ejecución del empotramiento con la máxima garantía, el pilar se plantea como dos elementos de 8x36 que se disponen a lado y lado de la biga y 24 elementos de anclaje por nudo en cada nivel.

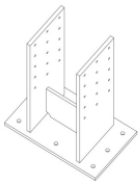
- Entre los dos pilares el espacio es ocupado por un semi pilar de 12x36 que tiene la función de evitar el pandeo lateral de las piezas y las operaciones de montaje.
- Definido el pórtico, el edificio se construye por repetición ordenada de éste mediante un inter eje determinado por las cargas a soportar y por la resistencia del elemento constitutivo del forjado, panel tricapa de abeto, 1,25 m.

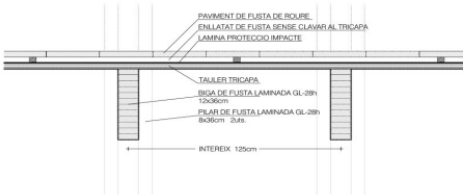
- La casa unifamiliar Farhaus AF1 se resuelve mediante 9 pórticos. Para tener estabilidad a empujes horizontales perpendiculares al pórtico se establecen como elementos de traba entre pórticos, elementos que arriostran la estructura y que son claves parala resolución del sistema de montaje. Estos elementos permiten una construcción rápida en obra en base a elementos prefabricados en taller de dimensión reducida y bastante manejables.

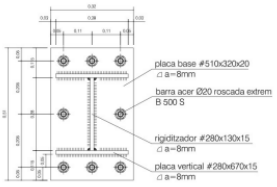


- El anclaje de los pilares en la cimentación se realiza mediante piezas metálicas de transición dimensionadas de modo que garanticen un importante grado de empotramiento.











Fabricación i montaje

En taller, Los pilares de 8x36 de dos crujías contiguas sin necesidad de trabajo o torneado, son trabados entre si configurando el elemento de traba que denominamos «escaleras». Estos elementos de dimensión mediana son fijados provisionalmente en obra los elementos de anclaje con la cimentación. El siguiente paso es la colocación de la viga, la colocación de la siguiente «escalera» y la fijación definitiva de biga y pilar generando el empotramiento en todos los nudos. Este sistema de montaje permite rapidez y se diseña simultáneamente con la resolución de la solución estructural.















Las instalaciones

Fachadas equipadas

- Las fachadas laterales reservan una cámara para el paso de las instalaciones y la ubicación de equipamiento de poca dimensión.



- Las fachada frontal y posterior oculto de elementos de mayor dimensión como la climatización.
- La cámara prevista en el pavimento permite la distribución de redes eléctricas y los circuitos de ventilación de aire pre climatizado mediante intercambiadores entálpicos i pozo canadiense.
- No se genera cámaras específicas para instalaciones, se utilizan los espacios del rastrelado de los pavimentos, así como parte del espesor de fachada, determinado por el dimensionado estructural del pilar, y no requerido para el nivel de aislamiento deseado.

Soluciones constructivas





Final de obra







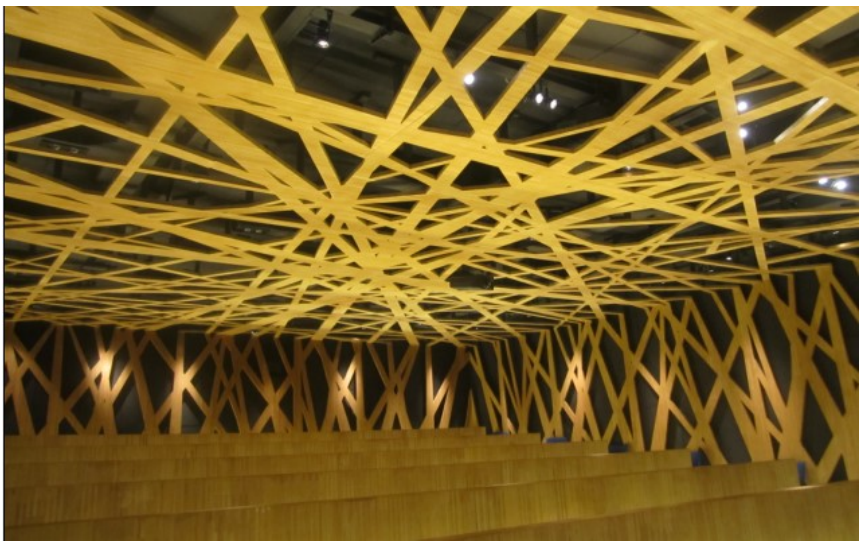
Proyectos educacionales en madera: Aplicación digital Normadera y Gutik-Zura

Mari Jose Barriola Baraibar
Responsable del área de madera de Tknika
Zamalbideauzoa s/n 20100 Renteria
mbarriola@tknika.eus

Palabras clave: madera, caracterización, construcción,

Resumen

La necesidad de este proyecto radica en la normativa europea y en el Reglamento de Productos de la Construcción donde se obliga a que toda la madera a emplear en cualesquiera de los procesos constructivos haya sido sometida a un proceso de caracterización, y, específicamente, la madera destinada al uso estructural deberá estar clasificada y tener asignada una clase resistente, de acuerdo con lo estipulado en el documento de Seguridad Estructural "Madera" (DB-SEM) del Código Técnico de la Edificación.
Desde TKNIKA consideramos que la valoración de la madera como material renovable y de gran sostenibilidad supone una importante oportunidad en el campo de la construcción y de la rehabilitación.
Los objetivos de nuestro proyecto WOODNIKA han sido:
1. La elaboración de una plataforma digital normadera.tknika.net, un espacio de información y formación para el profesorado de Formación Profesional, alumnado y profesionales de este sector.
2.La caracterización de la madera de diferentes especies arbóreas y la incorporación al sector, de nuevas tecnologías, basadas en técnicas sónicas que permitan una clasificación y estandarización de la madera desde el árbol en pie.
3.Potenciar el uso y buen uso de la madera local atendiendo a criterios de sostenibilidad.
4.El estudio de la durabilidad natural de la madera y su resistencia frente a organismos xilófagos incorporando la influencia de la fase lunar en la calidad de la madera obtenida.
5.El desarrollo y elaboración de nuevos productos de madera.
Hemos trabajado el proyecto con tres especies comunes en nuestro entorno natural: alerce de Japón (Larixkaempferi (Lamb.) Carr.), pino Oregón (Pseudotsugamenziesii (Mirb.) Franco) y pino laricio de Córcega (Pinusnigrasubsplariciovar Corsicana).
Por otra parte, el proyecto nos ha permitido avanzar de manera notable para conseguir una comercialización óptima de la madera como material de construcción. También ha sido fundamental para que los aserraderos puedan cumplir con los requisitos establecidos en la normativa europea vigente para la implantación del marcado CE de sus productos.



Estamos convencidos y convencidas que WOODNIKA supone un importante paso adelante. Los ensayos y mediciones obtenidos en las tres especies estudiadas serán una fuente muy importante de información para que empresas y profesionales puedan seguir avanzando en la utilización de un bien preciado y abundante en nuestro entorno como es la madera.

Una gestión forestal sostenible de los bosques y el desarrollo de la innovación y de la formación en este sector pueden dar un aporte muy importante a la economía del entorno.

A través de la plataforma digital http://normadera.tknika.net se ha reforzado la educación acerca de la madera como material sostenible y renovable.





Entidades que colaboran en el proyecto

La Dirección de Innovación e Industrias Agroalimentarias del Gobierno Vasco del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, agricultura y pesca en su convocatoria de I+D

El Servicio de Montes y Gestión de Hábitats de la Dirección General de Montes y Medio Natural del Departamento de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo de la Diputación Foral de Gipuzkoa.

En el congreso se realizará también una presentación del proyecto Gutik-Zura www.zura.eus

El presente proyecto pretende dar luz a conocimientos ancestrales que, de tan arraigados que se encontraban en la cultura y la tradición de este pueblo, han pervivido a lo largo de los siglos, incluso con la única herramienta de la transmisión oral intergeneracional. La innovación en madera junto con la recopilación de los conocimientos tradicionales alrededor de la misma, podrán poner en valor las cualidades de este material, siendo la formación la herramienta más importante para conseguir una mayor presencia de la madera en nuestra sociedad.
Con este fin, y durante el año pasado, se ha realizado una película audiovisual que se presentó en el festival internacional de cine de San Sebastián, en la Berlinale y en el Festival internacional de Minnesota 2017 así como en numerosas ciudades y pueblos a nivel nacional.

Referencias

Ackson Albert; DAY David: Manual completo de la madera, la carpintería y la ebanistería, Ediciones del Prado, Madrid, 1993.
Medina, Gonzalo: Pavimentos de madera, Ediciones AITIM, Madrid, 2005.
Monografico de a.e.i.m, nº 2: Especies de madera, 2007/2008.
Peraza, Fernando: Protección preventiva de la madera, Ediciones AITIM, Madrid, 2001.
Vignote, Santiago: Tecnología de la madera, Ediciones Mundiprensa, Madrid eta Barcelona, 2006.
Villadangos, P: Tecnología de la madera, Ediciones Edebé, Madrid, 1997.
Nutsch, Wolfgang: Tecnología de la madera y el mueble, Ediciones Reverté, Madrid, 1996.
Especies de madera CDa, Ediciones AITIM, Madrid, 2005
Manual de Control de Producción en Fábrica genérico para productos de madera, editado por Cesefor.
Marcado CE. Cesefor: Ficha comercial de Cesefor.
Marcado CE. Productos de madera. Documento divulgativo editado y distribuido por Cesefor.
Marcado CE en madera estructural. Documento divulgativo editado y distribuido por Cesefor.

Influencia de diferentes parámetros en el comportamiento al fuego de siete especies de frondosas mejicanas

Laia Haurie[a], María Pilar Giraldo[b], Ana María Lacasta[a], Joaquín Montón[b], Rodolphe Sonnier[c]
Primer Autor[a], Segundo Autor[b], Autor Ponente[b], Cuarto Autor[a]
[a]Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Av. Dr. Marañón, 44-50, 08028 Barcelona Spain.
[b]Forest Sciences Centre of Catalonia CTFC - INCAFUST, Ctra. Sant Llorenc, km 2, 25280, Solsona, Spain.
[c]Centre des Matériaux C2MA, Ecole des Mines d'Alès, 6, avenue de Clavières, 30100 Alès, France
E-mail: Laia.haurie@upc.edu

Palabras clave: comportamiento al fuego, estabilidad térmica, pirólisis, combustión

Resumen

En este artículo se analiza el comportamiento al fuego de siete maderas frondosas mejicanas. La finalidad es intentar determinar cuáles son los parámetros que ejercen influencia en el comportamiento al fuego de la madera. Uno de los factores que se considera clave es la densidad, ya que está relacionada con la velocidad de carbonización y por consiguiente esto afecta a las reacciones de pirólisis. Sin embargo, la densidad no es el único factor que influye en el comportamiento al fuego de la madera. En este trabajo se estudian siete frondosas diferentes y se analizan los resultados de los ensayos de reacción al fuego en relación a las propiedades físico-químicas de la madera.

Introducción

La madera en caso de incendio sufre una degradación térmica que engloba diferentes procesos termo-físicos y termo-químicos como transferencia de calor, secado, pirólisis, carbonización, pérdida de masa o smouldering. La densidad es uno de los parámetros que se consideran claves para obtener un mejor comportamiento al fuego de la madera, ya que un aumento de la densidad está relacionado con una disminución de la velocidad de carbonización de la madera y de las reacciones de pirolisis (1). La morfología y la composición química de la madera afectan en gran medida estos procesos complejos (2). Los constituyentes principales de la madera son celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es un polímero formado por un elevado número de unidades de glucosa. El grado de polimerización (GP) varía en función de la especie de madera, pero la celulosa de las frondosas presenta habitualmente un GP por encima de 3000 (3). La hemicelulosa está formada por polisacáridos de bajo peso molecular con un GP alrededor de 200 (4) y la lignina es un polímero aromático entrecruzado (5). Estas diferencias moleculares entre los constituyentes explican la descomposición a menores temperaturas (180-350ºC) de la hemicelulosa, seguida de la descomposición de la celulosa entre 275 y 350ºC y la lignina entre 250 y 500ºC (6). Diferentes autores

han descrito las etapas que ocurren durante la combustión de la madera (2) (7):

- 100 - 200ºC: liberación de agua y gases no combustibles.
- 200 - 300ºC: pirólisis de la hemicelulosa y la lignina. Inicio de la carbonización de la madera.
- 300 - 455ºC: despolimerización de la celulosa y la lignina. Liberación de gases inflamables.
- 450ºC: oxidación y smouldering del residuo carbonizado.

Los extractos y exudados de la madera ejercen una influencia significativa en características esenciales de la madera, como pueden ser el color, olor, densidad, estabilidad dimensional y durabilidad (8). Estos compuestos pueden afectar también el poder calorífico y de esta manera la inflamabilidad de la madera (9). Los árboles contienen también diferentes minerales que pueden actuar como catalizadores durante la pirólisis e influir en las temperaturas y los productos liberados (10) (11).

Este trabajo proporciona un estudio detallado del comportamiento al fuego de siete especies de maderas coníferas. Se han caracterizado mediante diferentes ensayos y los resultados obtenidos se han relacionado con las propiedades físico-químicas de las especies de madera.

Materiales y métodos

La tabla 1 recoge las características de las siete especies de maderas frondosas de México analizadas en este trabajo. A continuación se detallan los ensayos realizados.

Tabla 1. Características de las diferentes especies de madera

Nomenclatura	Nombre científico	Superficie	Densidad [Kg/m^3]
TD	*Tabebuia donnell-smithii*		448
EC	*Enterolobium cyclocarpum*		504
TR	*Tabebuia rosea*		604
SH	*Swietenia humilis*		655
LA	*Lysiloma acapulcensis*		685
CA	*Cordia elaeagnoides*		1130
TC	*Tabebuia chrysantha*		1234

- Análisis termogravimétrico (TGA): Los ensayos se realizaron en un horno acoplado a una balanza de precisión. Las muestras se calentaron a 4ºC/min desde 25ºC a 1000ºC en atmósfera de aire.
- Índice de oxígeno límite (LOI): El LOI se determinó siguiendo la norma UNE-EN ISO 4589. Las dimensiones de las muestras eran 70 mm x 10 mm x 1 mm y se colocaron verticalmente en una atmósfera controlada de nitrógeno y oxígeno. El índice de oxígeno límite es la concentración mínima a la cual el material mantiene la combustión según los criterios definidos en la norma.
- Ensayo del epiradiador: Se utilizó el equipo descrito en la norma española UNE 23725-90. La realización del ensayo consiste en colocar las muestras de 70 x 70 x 10 mm en una malla metálica de manera que la fuente de calor quede a 3cm de la superficie de la muestra. Durante el ensayo se registra el tiempo de ignición en el

momento que aparece la llama, se retira el radiador, se anota el tiempo de extinción y se vuelve a colocar el radiador sobre la muestra. Este proceso se repite durante 5minutos. Los parámetros que se determinaron fueron el tiempo de ignición inicial (t_0), el número de igniciones (No) y la duración media de las combustiones (t_m).

- Microcalorímetro de pirólisis (PCFC): Se utilizó un microcalorímetro de Fire Testing Technology que consta de una cámara de pirólisis en la cual las muestras de calientan hasta 750ºC a 1ºC/s en atmósfera de nitrógeno. Los gases liberados se trasladan a una cámara de combustión que contiene oxígeno y nitrógeno. En función del consumo de oxígeno se determina la velocidad de liberación de calor.
- Microscopia electrónica de barrido: Se analizó la morfología de las diferentes especies, así como la presencia de elementos químicos provenientes de sustancias minerales mediante un microscopio ambiental, ESEM Quanta 200 FEI acoplado a un detector de energía dispersiva.

Resultados y discusión

Las curvas de TGA se presentan en la fig. 1. La pérdida de peso por debajo de 150ºC se asigna a la liberación de agua. La descomposición por encima de 250ºC ocurre en diversas etapas. Se observa una correlación entre la estabilidad térmica y la densidad de las especies de madera. La especie de menor densidad, TD, descompone a temperaturas significativamente inferiores que el resto de maderas. Esto se debe probablemente a la presencia de altos contenidos de hemicelulosa y menor presencia de celulosa y lignina. La descomposición a temperaturas más elevadas de las especies más densas, CA y TC, está probablemente relacionada con la presencia de altos porcentajes de lignina.

En la tabla 2 se presentan los resultados correspondientes al ensayo de LOI y epiradiador.

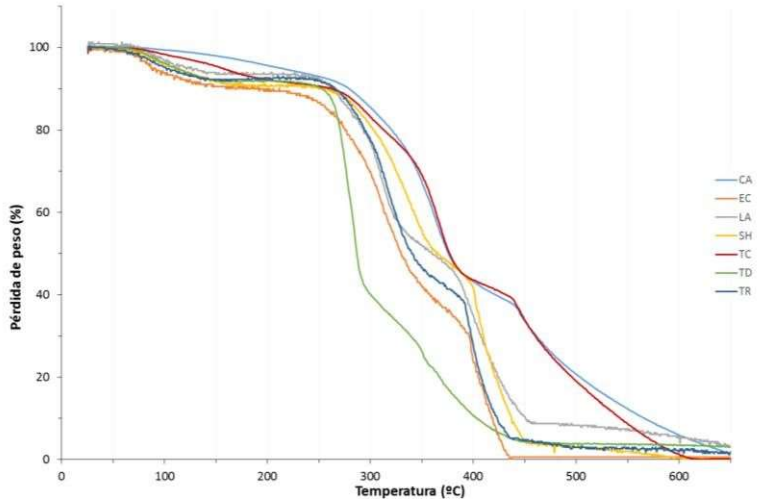


Figura 1. Resultados del análisis termogravimétrico de las diferentes especies de madera.

El tiempo de ignición inicial aumenta con la densidad de la madera. El valor más alto de LOI lo exhibe la especie LA seguido de las especies más densas CA y TC, sin embargo en este caso no existe una correlación clara entre el valor de LOI y la densidad. La especie

LA muestra una mayor capacidad de autoextinción que el resto. Por otro lado, la especie TD de menor densidad presenta los resultados más desfavorables en el ensayo de LOI y epiradiador.

Table 2. Resultados de epiradiador y LOI.

Nomenclatura	Densidad (kg/m^3)	t_0 (s)	No	t_m (s)	LOI (%)
TD	448	17	8	29	21.1
EC	504	17	12	16	24
TR	604	24	8	29	21.5
SH	655	28	14	16	23.1
LA	685	31	16	9	26.5
CA	1130	37	9	26	25.1
TC	1234	49	13	20	24

En los ensayos del microcalorímetro de pirólisis se trabaja con muestras de tamaño reducido, lo cual minimiza el efecto de la inercia térmica. Por este motivo, la densidad no debería tener influencia en los resultados obtenidos. La tabla 3 muestra los valores del pico máximo de liberación de calor (pHRR), la temperatura a la que ocurre (TpHRR) y el calor total liberado (THR (kJ/g)). La especie LA presenta el valor más bajo de pHRR (80 W/g) y THR (8.2 kJ/g), mientras que la especie CA muestra los valores más altos, con un pHRR de 126 W/g y un THR de 13.3 kJ/g.

Tabla 3. Valores de pHRR, TpHRR y THR obtenidos con el microcalorímetro.

Nomenclatura	Densidad (Kg/m^3)	pHRR (W/g)	TpHRR (ºC)	THR (kJ/g)
TD	448	117	354	10.1
EC	504	106	365	10.0
TR	604	113	362	10.5
SH	655	107	366	9.5
LA	685	80	346	8.2
CA	1130	126	373	13.3
TC	1234	93	368	9.0

Las observaciones con microscopio electrónico revelan que la estructura de las diferentes especies presenta variaciones significativas. Tal y como se observa en la fig. 2, las especies LA, CA y TC tienen una morfología más compacta en relación al resto de especies.

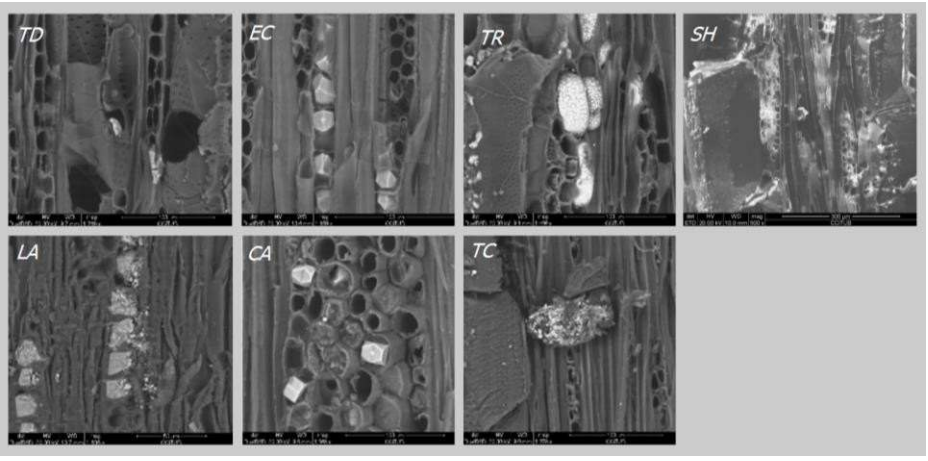


Figura 2. Imágenes de microscopio electrónico de las diferentes especies de madera.

Este hecho es de esperar en las muestras con densidades superiores a 1000Kg/m^3 como CA y TC, pero sorprende en muestras de densidad media como LA. Gran parte de los radios medulares se encuentran saturados con minerales. La presencia de compuestos inorgánicos parece estar relacionada con un incremento en la producción de compuestos que promueven la carbonización de la madera durante la pirólisis e inhiben la formación de compuestos volátiles (12) (13) (14).

Conclusiones

Se ha evaluado el comportamiento al fuego de siete especies de madera prestando especial atención a la influencia de la densidad. Se ha encontrado una buena correlación entre el aumento del tiempo de ignición y la densidad. Sin embargo, otros de los parámetros evaluados como el pHRR o el THR no presentan una relación clara con la densidad. Otros factores como la composición y la morfología de la especie parecen tener una influencia significativa en los procesos de combustión de la madera.

Referencias

(1) A. Bartlett, R.M. Hadden, L.A. Bisby, A. Law, Analysis of cross-laminated timber charring rates upon exposure to nonstandard heating conditions, Fire Mater. 2015 - 14th Int. Conf. Exhib. Proc., Interscience Communications Ltd, 2015: pp. 667–681.
(2) K.L. Friquin, Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber, Fire Mater. 35 (2011) 303–327. doi:10.1002/fam.1055.
(3) B.B. Hallac, A.J. Ragauskas, Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol, Biofuels, Bioprod. Biorefining. 5 (2011) 215–225. doi:10.1002/bbb.269.
(4) J.C.F. Walker, Primary Wood Processing: Principles and practice, 2nd ed., Springer Netherlands, 2006. doi:10.1007/1-4020-4393-7.
(5) H. Yang, R. Yan, H. Chen, D.H. Lee, C. Zheng, Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis, Fuel. 86 (2007) 1781–1788. doi:10.1016/j.fuel.2006.12.013.
(6) L. Lowden, T. Hull, Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction, Fire Sci. Rev. 2 (2013) 4. doi:10.1186/2193-0414-2-4.
(7) R.H. White, M.A. Dietenberger, Wood Products : Thermal Degradation and Fire, Encycl. Mater. Sci. Technol. 48 (2001) 9712–9716.
(8) R.G. Stanley, Extractives of wood, bark, and needles of the southern pines., For. Prod. J. 19 (1969) 50–56.
(9) R.H. White, Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood, Wood Fiber Sci. 19 (1987) 446–452.
(10) M. Müller-Hagedorn, H. Bockhorn, L. Krebs, U. Müller, A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species, J. Anal. Appl. Pyrolysis. 68–69 (2003) 231–249. doi:10.1016/S0165-2370(03)00065-2.
(11) H. Yang, R. Yan, H. Chen, C. Zheng, D.H. Lee, D.T. Liang, Influence of mineral matter on pyrolysis of palm oil wastes, Combust. Flame. 146 (2006) 605–611. doi:10.1016/j.combustflame.2006.07.006.
(12) T. Hosoya, H. Kawamoto, S. Saka, Cellulose-hemicellulose and cellulose-lignin interactions in wood pyrolysis at gasification temperature, J. Anal. Appl. Pyrolysis. 80 (2007) 118–125. doi:10.1016/j.jaap.2007.01.006.
(13) K. Raveendran, A. Ganesh, K.C. Khilar, Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics, Fuel. 74 (1995) 1812–1822. doi:10.1016/0016-2361(95)80013-8.
(14) T. Hosoya, H. Kawamoto, S. Saka, Pyrolysis behaviors of wood and its constituent polymers at gasification temperature, J. Anal. Appl. Pyrolysis. 78 (2007) 328–336. doi:10.1016/j.jaap.2006.08.008.

Rehabilitación energética y estructural de fachadas con madera y derivados de la madera: paso de C.U 3 a C.U. 1

Alfonso Lozano, Juan Enrique Martínez Martínez, David Lorenzo, Pelayo Valle Pello
Profesor titular; EPI de Gijón; Universidad de Oviedo;
Estudiante de doctorado; EPI de Gijón; Universidad de Oviedo;
Profesor asociado; Universidad de Santiago de Compostela;
Estudiante de doctorado; EPI de Gijón; Universidad de Oviedo;
alozano@uniovi.es

Palabras clave: fachadas, degradación, rehabilitación, impacto ambiental

Resumen

La utilización de especies de maderas poco durables o no durables frente a los ataques de hongos xilófagos, es el principal origen de las degradaciones de mayor entidad que sufren los elementos de madera expuestos al exterior. Este tipo de daños resulta especialmente grave cuando se utilizan especies poco o no impregnables.

La ponencia presenta los procesos patológicos que afectaban a una construcción de madera expuesta a una Clase de Uso 3 desde el punto de vista de su estabilidad y salubridad. Y después se expondrán las actuaciones que se llevaron a cabo para corregirlos, reduciendo su Clase de Uso, utilizando para ello criterios, técnicas y materiales de muy bajo impacto ambiental.

Introducción

En España, cuando la normativa urbanística lo permite, resulta bastante frecuente encontrar viviendas unifamiliares constituidas por muros de carga de madera aserrada. El motivo de ello radica fundamentalmente en la conexión de una estética muy apreciada por el público en general, y el desarrollo de sistemas industrializados de fabricación que abaratan la ejecución de estas edificaciones. Por ello y a pesar de la crisis, actualmente todavía existe una amplia variedad de fabricantes nacionales e internacionales que ofertan distintos sistemas constructivos basados en muros portantes de madera aserrada o rollizos.

Sin embargo, ha sido esta diversidad de materias primas, diseños y procedimientos de puesta en obra, combinados con la variabilidad de las diferentes zonas climáticas de nuestro país, lo que ha provocado la aparición de procesos patológicos asociados a los hongos de pudrición e insectos xilófagos, especialmente virulentos en las regiones del norte, se combinan temperaturas suaves y lluvias frecuentes. De hecho, como inmediatamente se comprobará, a veces el alcance de los daños puede afectar no solo a la habitabilidad, sino también a la seguridad estructural.

Descripción de la vivienda y su sistema constructivo

La vivienda unifamiliar objeto de la intervención localizada en la costa asturiana, presenta una planta en forma de L, y se compone de una planta baja donde se ubican dos dormitorios, dos baños, la cocina, su despensa, y el salón - comedor, más un altillo con otros dos dormitorios (Fig. 1). Además, seis meses después de entregada, sobre la parte ciega de la fachada lateral izquierda (orientación Oeste), se adosó una construcción auxiliar destinada a almacén.

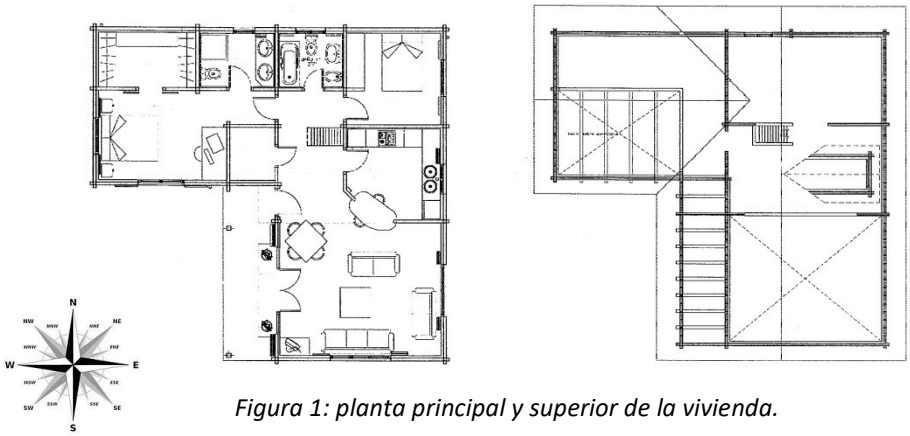


Figura 1: planta principal y superior de la vivienda.

Respecto a su estructura, a excepción de su cimentación, formada por una solera de hormigón armado, tanto para la vivienda como para el almacén se utilizaron elementos prefabricados a base de muros de carga constituidos por escuadrías de madera maciza de 100 mm de espesor, ensambladas entre sí mediante cajeados a media madera practicados en los cantos. Como suele ser habitual en estos casos, los acoplamientos entre las piezas se realizaron a través de machihembrado. El proyecto básico y de ejecución había prescrito Pino Silvestre (*Pinus sylvestris*), también conocido como Pino de Valsaín, pino serrano, pino Norte o Pino Rojo para constituir la totalidad de los elementos estructurales de la vivienda y su ampliación.

Para cumplir las exigencias mínimas de ahorro energético, todas las fachadas se trasdosaron por el interior mediante paneles de fibra de vidrio de 50 mm de espesor y tabla machihembrada de madera maciza de 12 mm de grosor. La cubierta, a dos aguas, se remató con teja adherida al tablero mediante espuma de poliuretano.

Daños y lesiones más significativas

Seis años después de emitido el certificado Fin de Obra, los propietarios denunciaron la presencia de importantes filtraciones de agua en el interior del inmueble, degradación de los pavimentos de madera, así como daños de cierta consideración en las escuadrías que constituían las fachadas, hasta el punto de que en días de fuerte viento, se percibían incluso evidentes movimientos y desplazamientos relativos entre dos de sus muros de carga.

Ante esta situación se planteó, en primer lugar analizar la tipología y el alcance de la degradación de los elementos de madera; y en segundo lugar, definir las actuaciones necesarias para garantizar la estabilidad, la durabilidad y la salubridad de la edificación. Aunque el origen de todos los daños era el mismo, considerando la diferente entidad de los procesos patológicos detectados en el exterior y en el interior de la vivienda, se ha optado por describirlos de manera independiente.

Daños en las fachadas

La totalidad de los paramentos exteriores presentaba algún tipo de degradación a consecuencia de la acción de los organismos xilófagos, aunque sin duda los mayores problemas se localizaban fundamentalmente en el arranque de los muros, en el entorno de los ensambles o en las propias aristas de unión correspondientes a los cerramientos orientados hacia el Norte y el Oeste. El nivel de daño en estas zonas era tal que varios troncos se disgregaban simplemente por la presión de los dedos, con el grave problema que ello conlleva, ya que todas las fachadas eran portantes (Fig. 2 y 3). Además, no debe olvidarse que las cargas, aunque ligeras, actúan siempre perpendiculares a la dirección de la fibra, donde la resistencia mecánica puede llegar a ser entre un 20 – 30 % inferior a la correspondiente a la dirección paralela.




Figuras 2 y 3: pérdidas de masa en los acoplamientos de las piezas de las fachadas.

En los encuentros entre tablas la situación era incluso más grave, ya que la acumulación de agua en los rebajes de apoyo provocaba que varias de las uniones se encontrasen totalmente degradadas por la acción de los hongos (Figuras 4 y 5).




Figuras 4 y 5: daños en los ensambles de las escuadrías.

De hecho, durante las inspecciones se comprobó que bajo situaciones de fuerte viento, existía un problema de desplazamientos y deformaciones excesivas debido a las acciones de presión / succión sobre una de las fachadas.

Defectos en el interior de la vivienda

Los desajustes propios de los cambios volumétricos de madera empleada en la estructura y las pérdidas de masa debidas a la acción de los hongos de pudrición, favorecían las entradas de aire y agua dentro de la vivienda. Esta situación obligó a los propietarios a aplicar cordones de másticos de poliuretano en las juntas, con el fin de sellar los puntos de infiltración (Fig 6).

Sin embargo, en los días de lluvia y fuerte viento, la cantidad de agua que penetraba a través de las fachadas era tal que la parte inferior del trasdosado y los pavimentos presentaban importantes daños por hongos de pudrición (Fig 7). Este mismo agua infiltrada había saturado por completo la manta de fibra de vidrio empleada como aislamiento térmico, arruinando sus prestaciones y provocando el desprendimiento y caída de la misma hacia el fondo de la cámara, al aumentar su peso de manera considerable.



Figuras 6 y 7: sellado de las juntas y filtraciones en el interior.

Estudio patológico y diagnóstico

Además de la determinación del contenido de humedad mediante xilohigrómetro en las fachadas (16%), ensambles y en los arranques de los muros (30%), se analizó el grado de deterioro biológico con el resistógrafo y se extrajeron muestras de los muros de carga para definir la especie de madera realmente empleada en la vivienda y en el almacén. Los resultados de las pruebas determinaron que para la vivienda se había empleado madera de Abeto Rojo (Picea abies), en lugar del Pino Silvestre (Pinus sylvestris) prescrito en proyecto y utilizado exclusivamente en la construcción auxiliar.

Aunque ambas especies son similares en cuanto a la posibilidad de sufrir ataques por organismos xilófagos (su durabilidad natural es relativamente pareja), el elemento fundamental que las diferencia es precisamente su durabilidad adquirida.

Solución: fachada ventilada de madera termotratada

Con el fin de reducir los gastos y el impacto ambiental que conllevaría una sustitución total de los muros de carga por otros de madera tratada apta para una C.U 3, se propuso reducir la exposición de las fachadas de madera de Abeto Rojo, de manera que pasasen a categoría 1, situación en la que sí sería aceptable este tipo de madera. Para ello habría que instalar un nuevo protector que impidiese el contacto de la madera de Abeto con el agua y que al mismo tiempo fuese transpirable. Así se permitiría el secado de las escuadrías de madera, al tiempo que evitaría su humectación por el agua de la lluvia.

La solución técnica propuesta fue una lámina impermeable de baja transpirabilidad (Sd 2.3) colocada sobre los muros de carga, y un revestimiento de madera termotratada, en lamas horizontales superpuestas, a fin de evitar la penetración de la humedad, incluso en situaciones de fuertes vientos. Esta fachada ventilada serviría de paso para ocultar la Cruz de San Andrés encargada de absorber las acciones de viento (Fig. 8).

Además, dado que el agua también había arruinado la manta de fibra de vidrio, la cámara de aire de 120 mm de espesor creada entre la fachada inicial y la de madera termotratada, se rellenaría con fibra de celulosa, protegida de la intemperie por otra lámina impermeable (Sd 0.05) de alta transpirabilidad (Fig. 9).




Figuras 8 y 9: lámina impermeable transpirable, cruces de San Andrés y madera termotratada.

Cabe destacar que todas estas actuaciones implican un mínimo impacto medioambiental, ya que además de evitarse la reconstrucción de la vivienda, permiten utilizar materiales inocuos para el ser humano y para la naturaleza.

Y sobre todo, las características térmicas y espesores de algunos de los productos utilizados mejoran la eficiencia térmica del inmueble, hasta alcanzar las prestaciones similares a una construcción tipo NZEB.

Síntesis de compuestos con quitosano y nanocobre y estudio de su actividad fungicida frente al hongo de pudrición de la madera *Trametes versicolor*.

Laiz Alonso Pablo[a], Casado Sanz Milagros[a], Acuña-Rello Luís[a], Martín-Gil Jesús[a], Silva Iosody[a], Martín-Ramos Pablo[b]
[a]Universidad de Valladolid, E.T.S. Ingenierías Agrarias. Avda Madrid 44 34071 Palencia; [b]Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna, 12, 50009 Zaragoza
E-mail del autor ponente: milac@iaf.uva.es

Palabras clave: antifúngicos naturales, nanomateriales, durabilidad madera, hongos de pudrición.

Resumen

La sociedad demanda tratamientos alternativos al empleo de productos químicos para la protección de la madera, que sean naturales, respetuosos con el medio ambiente y que requieran de un mantenimiento y coste mínimo en su ciclo de vida.

En este trabajo se presenta la síntesis de oligómeros de quitosano (Quioli) y nanopartículas de cobre (CuNPs), así como un compuesto binario formado por ambos mediante la aplicación de técnicas de ultrasonidos.

Se ha evaluado la actividad fungicida mediante la inoculación *in vitro* del hongo en base al método de dilución en agar de los compuestos, se ha estudiado la concentración óptima y la sinergia de los composites en un hongo que ataca a madera estructural produciendo pudrición blanca (*Trametes versicolor*). Se demuestra una alta capacidad antifúngica sobre el crecimiento del micelio de *T. versicolor* a muy bajas concentraciones de los productos individuales, toda vez que es posible alcanzar un 100% de inhibición con 1,5 mg/mL de QuiOli y 500 ppm de CuNPs. Las mezclas de nanopartículas de cobre con oligómeros de quitosano también arrojan un tratamiento que inhibe totalmente el crecimiento del hongo con 1 mg/mL de QuiOli y 250 ppm de CuNPs.

Introducción

Las nanopartículas (NPs) son aquellas partículas cuyo diámetro se sitúa entre 1 y 100 nm y se encuentran en dispersión, ya sea en un medio gaseoso, líquido o sólido (1) .

En los últimos años, la investigación en el campo de las NPs, especialmente las metálicas, y su aplicación en el desarrollo de nuevos productos comerciales y aplicaciones industriales se ha incrementado drásticamente. Sus especiales propiedades eléctricas, ópticas, fisicoquímicas o antimicrobianas son son el motivo de que hayan recibido el interés de los investigadores.

A día de hoy, las nanopartículas de cobre y de plata ya se utilizan en diversas formulaciones y productos con características antimicrobianas, tales como tejidos sintéticos, dispositivos biomédicos, instrumentos quirúrgicos, procesado y empaquetado de comida o purificación de agua (2), (3), (4).

Existen numeroso antecedentes en el uso de nanopartículas metálicas para la protección de madera frente a hongos de pudrición, destacando entre otros;(5), (6), (7), (8) y (9). Los resultados publicados indican un significativo grado de protección frente a *T. versicolor* y *G. trabeum* por parte de las CuNPs (nanopatículas de cobre).

El quitosano se ha convertido en un material prometedor dado su caracter antimicrobiano (10). El quitosano actúa en diversos estados de desarrollo del hongo: inhibiendo el crecimiento del micelio, la esporulación, la viabilidad de las esporas, la germinación de éstas o la producción de factores de virulencia (11). Este biopolímero catiónico se caracteriza por ser biocompatible, biodegradable, no tóxico, filmogénico y tener propiedades emulsionantes, absorbentes, antimicrobianas, antivirales y antifúngicas (12).

El patógeno seleccionado para la evaluación de los compuestos antifúngicos del presente trabajo es el *Trametes versicolor*, un hongo causante de pudrición blanca en la madera, que afecta gravemente tanto en árboles en pie como a madera estructural (13).

Objetivos

El objetivo general es obtener, a través del uso de nuevas tecnologías, un compuesto fungicida a base de productos naturales y un componente de tamaño nanométrico, capaz de reducir y eliminar la presencia de *Trametes versicolor*. Como objetivos secundarios se plantean los siguientes:

1. Obtener nuevos composites antifúngicos a base de una matriz polímerica de oligómeros de quitosano que incorpore nanopartículas de cobre mediante la aplicación de técnicas de ultrasonidos.
2. Evaluar in vitro la actividad antifúngica de los composites sobre hongos de madera estructural (*T. versicolor*).
3. Determinar la concentración óptima de los compuestos individuales en la inhibición del crecimiento de *T. versicolor*, para realizar posteriormente las mezclas binarias.

Equipos, sustancias químicas y microorganismos

Se emplearon las siguientes sustancias químicas: sulfato de cobre (II) pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) de grado reactivo y ácido acético glacial (CH_3COOH) suministrados por Panreac; hidrazina monohidrato ($N_2H_4 \cdot H_2O$) con grado reactivo 98 % y polivinilpirrolidona (PVP) de peso molecular promedio 10000 suministrados por Sigma-Aldrich; e hidróxido de sodio (NaOH) en escamas de Manuel Riesgo.

El quitosano es de peso molecular medio y fue suministrado por Hangzhou Simit Chemical Technology (Hangzhou, China). El agar de patata dextrosada (PDA) utilizado como medio de cultivo es de Becton, Dickinson & Company.

Los reactivos se pesaron en una balanza Ohaus Adventurer con una sensibilidad de 0,001 g. La aplicación de calor y agitación se realizó con un agitador magnético con calefacción Thermo Scientific Cimarec, mientras que para la aplicación de ultrasonidos se empleó un sonicador modelo CSA 20-S500, con una frecuencia de trabajo de 20 kHz y una potencia máxima de 500 W.

El aislado de *Trametes versicolor* (20804) fue suministrado por la Colección Española de Cultivos Tipo (Valencia).

Procedimiento de obtención de productos

UDetalles sobre los procedimientos de obtención de los productos están publicados en trabajos anteriores (14) y (15).

Tras dejar precipitar las CuNPs en un recipiente cerrado y aislado, se extrajo la disolución sobrenadante con una pipeta y se preparó una suspensión acuosa de 5000 ppm con las CuNPs obtenidas, siendo sometida a sonicación durante 1 minuto a 20000 Hz para dispersarla y homogeneizarla. A partir de esta dispersión inicial se obtuvieron 50 mL de cada una de las subsiguientes: 3000 ppm, 1000 ppm, 500 ppm, 250 ppm y 125 ppm, tal como aparecen en la Figura 1, mediante la disolución de los volúmenes requeridos en agua destilada y su posterior sonicación durante 1 minuto a 20000 Hz (Figura 2).



Figura 1. Dispersiones de CuNPs obtenidas: 5000 ppm, 3000 ppm, 1000 ppm, 500 ppm, 250 ppm y 125 ppm (de izquierda a derecha) y disolución sobrenadante.



Figura 2. Sonicación de las CuNPs

Se prepararon dos disoluciones de oligómeros de quitosano: 10 mg/mL y 5 mg/mL, a partir de la primigenia de 20 mg/mL, mediante la adición del correspondiente volumen de agua destilada. Se elaboraron tres mezclas binarias de nanopartículas de cobre y oligómeros de quitosano (CuNPs-QuiOli) con el fin de comprobar si existe efecto

sinérgico entre ellas frente al hongo. Las concentraciones finales de las preparaciones se detallan en la tabla 1.

Resultados y discusion

La evaluación de la actividad antifúngica de los compuestos obtenidos fue llevada a cabo mediante el método de dilución en agar (*agar dilution method*), recomendado cuando se trabaja con hongos (16). El objetivo es determinar la concentración mínima inhibitoria, MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*), que se define como la concentración mínima del compuesto que inhibe totalmente el crecimiento visible del hongo bajo condiciones de crecimiento apropiadas (16), además de las curvas de crecimiento, que representan la actividad antifúngica a distintas concentraciones y momentos.

Para ello, se preparó un medio de cultivo en el que se adicionó y se repartió homogéneamente una determinada cantidad de compuesto de acuerdo con la concentración de éste que se quería ensayar. El hongo fue inoculado en su superficie y, cuando el tratamiento control llegó al límite de crecimiento establecido, se midió el desarrollo que alcanzó el organismo en el compuesto a ensayar.

En nuestro caso, el medio de cultivo fue PDA, y los recipientes en los que se desarrolló el ensayo fueron placas Petri de 85 mm x 14 mm. Las placas inoculadas permanecieron en una cámara de cultivo en ausencia de luz y a 27 ºC, temperatura situada en el rango óptimo de crecimiento para *T. versicolor* según (17).

Se realizaron 17 ensayos en total: 5 concentraciones para los tres compuestos evaluados (CuNPs, QuiOli y mezcla binaria), más los correspondientes al sobrenadante y el control (Tabla 1). La evaluación cuantitativa del crecimiento del micelio se realizó mediante la medición diaria, a partir del tercer día desde el inicio del ensayo, del diámetro del mismo a lo largo de dos ejes perpendiculares entre sí. Por lo tanto se obtuvieron seis datos por tratamiento y día.

Las curvas de crecimiento se elaboraron a partir de la media aritmética de los seis datos de diámetro diario obtenidos por tratamiento, incluyendo en ellas la representación de la desviación estándar de cada conjunto de datos. Cuando no hubo crecimiento del micelio, se introdujo como valor del diámetro el de la media de los lados del inóculo depositado sobre la placa (0,55 cm).

Para obtener el porcentaje de actividad antifúngica (expresada como reducción del crecimiento) se utilizó la siguiente fórmula (1) (16):

$$\text{Actividad antifúngica } (\%) = \frac{D_C - D_S}{D_C} \times 100 \qquad (1)$$

Donde D_C es el diámetro del micelio en el tratamiento control y D_S el diámetro del micelio en el tratamiento a evaluar (media aritmética de las tres réplicas), ambos

referidos al día de finalización del ensayo, cuando en el tratamiento control el hongo se ha extendido a toda la placa. La MIC de cada compuesto se corresponde con la concentración mínima que hace que la actividad antifúngica sea del 100 %.

Las concentraciones finales evaluadas de cada compuesto, calculadas respecto a los 25 mL totales de cada placa, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones finales de cada compuesto evaluadas por tratamiento.

Compuesto (ud. de medida)	**Concentraciones en cada tratamiento**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
CuNPs (ppm)	35	110	180	300	500
QuiOli (mg/mL)	0,18	0,36	0,90	1,50	2,50
CuNPs (ppm)-QuiOli (mg/mL)	18-0,09	55-0,18	70-0,45	150-0,50	250-1,00
Sobrenadante (% en volumen)	10	-	-	-	-
Control (% en volumen)	10	-	-	-	-

La disolución sobrenadante se evaluó para comprobar el posible efecto sobre el crecimiento del hongo de los restos de disolución que quedaron en la suspensión de CuNPs tras retirar la mayoría con la pipeta.

Los resultados obtenidos de los ensayos con el método de dilución en agar permiten establecer una MIC (Tabla 2) para los tres compuestos evaluados, así como descartar el efecto de la disolución sobrenadante sobre el crecimiento del hongo. La prueba de rango múltiple permite, además, ordenar los distintos tratamientos en función de su actividad antifúngica (de mayor a menor) y agruparlos en distintos conjuntos integrados por aquéllos que no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí (

Tabla 3).

En el caso de las nanopartículas de cobre, puede verse en la Figura cómo a partir de una concentración de 180 ppm el crecimiento del hongo se ve claramente afectado y disminuye, siendo completamente inhibido con 500 ppm, que es la concentración mínima inhibitoria (MIC). La disolución sobrenadante, sin embargo, no presenta ninguna actividad antifúngica (Tabla 3), estando de hecho su curva de crecimiento algo por encima del tratamiento control en los días 3, 4 y 5, por lo que se descarta cualquier efecto inhibitorio de ésta en el resto de tratamientos con CuNPs. La prueba de rango múltiple confirma que no existen diferencias significativas entre el control, la disolución sobrenadante y las concentraciones de 35 ppm y 110 ppm de CuNPs.

Tabla 2. Actividad antifúngica (porcentaje de reducción del crecimiento del hongo) y concentración mínima inhibitoria (MIC) de cada tratamiento evaluado con el método de dilución en agar.

Compuesto	Concentración	Actividad antifúngica (día 6)	MIC
Sobrenadante	10 % volumen	0,00 %	-
CuNPs	35 ppm	1,67 %	500 ppm
	110 ppm	0,39 %	
	180 ppm	22,84 %	
	300 ppm	44,51 %	
	500 ppm	100,00 %	
QuiOli	0,18 mg/mL	9,80 %	1,50 mg/mL
	0,36 mg/mL	16,76 %	
	0,90 mg/mL	58,73 %	
	1,50 mg/mL	100,00 %	
	2,50 mg/mL	100,00 %	
CuNPs-QuiOli	18 ppm-0,09 mg/mL	4,80 %	250 ppm-1 mg/mL
	55 ppm-0,18 mg/mL	15,88 %	
	70 ppm-0,45 mg/mL	37,06 %	
	150 ppm-0,50 mg/mL	37,16 %	
	250 ppm-1 mg/mL	100,00 %	

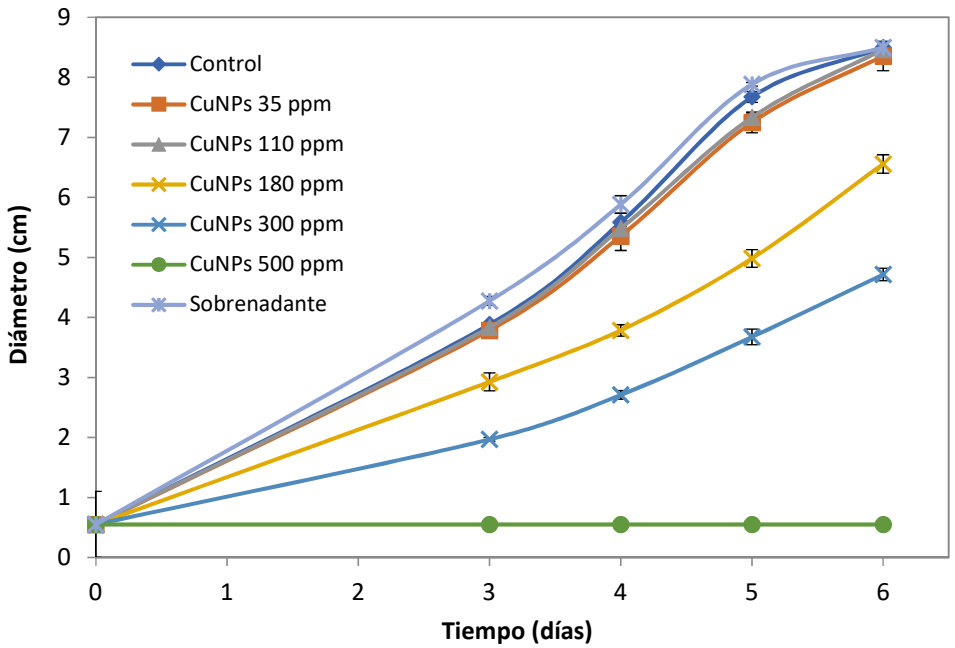


Figura 3. Curvas de crecimiento de *T. versicolor* para las distintas concentraciones de nanopartículas de cobre y disolución sobrenadante evaluadas con el método de dilución en agar. Cada punto representa la media de las tres réplicas y las barras de error indican su desviación estándar.

Tabla 3. Prueba de rango múltiple mediante el método HSD de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los distintos tratamientos del ensayo con el método de dilución en agar. Los datos de diámetro se refieren al momento de finalización del ensayo (sexto día).

Tratamiento	Casos	Media del diámetro	Grupos homogéneos
CuNPs 500 ppm	6	0,550	X
QuiOli 1,50 mg/ml	6	0,550	X
QuiOli 2,50 mg/ml	6	0,550	X
CuNPs-QuiOli 250 ppm-1 mg/ml	6	0,550	X
QuiOli 0,90 mg/ml	6	3,508	X
CuNPs 300 ppm	6	4,717	X
CuNPs-QuiOli 150 ppm-0,50 mg/ml	6	5,342	X
CuNPs-QuiOli 70 ppm-0,45 mg/ml	6	5,350	X
CuNPs 180 ppm	6	6,558	X
QuiOli 0,36 mg/ml	6	7,075	X
CuNPs-QuiOli 55 ppm-0,18 mg/ml	6	7,150	X
QuiOli 0,18 mg/ml	6	7,667	X
CuNPs-QuiOli 18 ppm-0,09 mg/ml	6	8,092	X
CuNPs 35 ppm	6	8,358	X
CuNPs 110 ppm	6	8,467	X
Sobrenadante	6	8,500	X
Control	6	8,500	X

En el caso de los oligómeros de quitosano si bien todos los tratamientos tuvieron un efecto estadísticamente significativo respecto al control, es a partir de la concentración de 0,90 mg/mL cuando el crecimiento del hongo se ve claramente afectado (58,73 % de inhibición), siendo nulo con las concentraciones de 1,50 mg/mL y 2,50 mg/mL, por lo que queda establecida la MIC en 1,50 mg/mL. Las mezclas de nanopartículas de cobre con oligómeros de quitosano también arrojan un tratamiento que inhibe totalmente el crecimiento del hongo (250 ppm-1 mg/mL), y por lo tanto se trata de la MIC. Las mezclas de 70 ppm-0,45 mg/mL y 150 ppm-0,50 mg/mL no se diferencian de una manera estadísticamente significativa entre ellas, debido probablemente a la similar concentración de oligómeros de quitosano.

Conclusiones

La evaluación de la actividad antifúngica de los oligómeros de quitosano (QuiOli) y nanocobre (CuNPs) demuestra una alta capacidad fungicida sobre el crecimiento del micelio de *T. versicolor*, a muy bajas concentraciones de los productos individuales al alcanzar un 100% de inhibición con 1,5 mg/mL de QuiOli y 500 ppm de CuNPs. Las mezclas de nanopartículas de cobre con oligómeros de quitosano también arrojan un tratamiento que inhibe totalmente el crecimiento del hongo con 1 mg/mL de QuiOli y 250 ppm de CuNPs. La evaluación de la capacidad de inhibición ante la pudrición blanca en madera continúa en estudio y se esperan resultados exitosos según los datos preliminares.

Referencias

(1) Capaldi, S. C.; Diniz, A. L.; Moretto, R.; Antunes, R.; Zezzi, M. A. Nanoparticles applied to plant science: A review. Talanta **2015**, 131(January), 693-705. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.08.050

(2) Giannossa, L. C.; Longano, D.; Ditaranto, N.; Nitti, M. A.; Paladini, F.; Pollini, M.; Cioffi, N. Metal nanoantimicrobials for textile applications. Nanotechnology Reviews. **2013**, 2(3), 307-331. https://doi.org/10.1515/ntrev-2013-0004

(3) Ingle, A. P.; Duran, N.; Rai, M. Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: A review. Applied Microbiology and Biotechnology **2014**, 98(3), 1001-1009. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5422-8

(4) Theron, J.; Walker, J. A.; Cloete, T. E. Nanotechnology and water treatment: applications and emerging opportunities. Critical reviews in microbiology. **2008**, 34(1), 43-69. https://doi.org/10.1080/10408410701710442

(5) Kartal, S. N.; Green, F.; Clausen, C. A. Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites? International Biodeterioration and Biodegradation. **2009**, 63(4), 490-495. https://doi.org/10.1016/j.ibiod. 2009.01.007

(6) Shah, V.; Dobiášová, P.; Baldrian, P.; Nerud, F.; Kumar, A.; Seal, S. Influence of iron and copper nanoparticle powder on the production of lignocellulose degrading enzymes in the fungus Trametes versicolor. Journal of Hazardous Materials **2010**, 178(1-3), 1141-1145. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.141

(7) Rezaei, V. T.; Usefi, A.; Soltani, M. Wood protection by nano silver against white rot. 5th Symposium on Advances in Science & Technology. **2011**, (April 2011), 1-9.

(8) Akhtari, M.; Arefkhani, M. Study of Microscopy Properties of Wood Impregnated with Nanoparticles during Exposed to White-Rot Fungus. Agriculture Science Developments. **2013**, 2(11), 116-119.

(9) Paril, P.; Baar, J.; Cermák, P.; Rademacher, P.; Prucek, R.; Sivera, M.; Panácek, A. Antifungal effects of copper and silver nanoparticles against white and brown-rot fungi. Journal of Materials Science. **2017**, 52(5), 2720-2729. https://doi.org/10.1007/s10853-016-0565-5

(10) De la Paz.; Fernández, M.; López, O.; Nogueira, A.; García, C.; Pérez, D.; Tobella, J.; Montes, Y.; Díaz, D. Optimización del proceso de obtención del quitosano derivado de la quitina de langosta. Revista Iberoamericana de Polímeros. **2012**, 13(3), 103-116.

(11) Badawy, M. E. I.; Rabea, E. I. A Biopolymer Chitosan and Its Derivatives as Promising Antimicrobial Agents against Plant Pathogens and Their Applications in Crop Protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, **2011**, 1-29. https://doi.org/10.1155/2011/460381

(12) INTI. Noticiero tecnológico mar y sierra, 10-7. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (http://www.inti.gob.ar/noticiero_mdq/2010/nmdq10.htm) **2010**.

(13) Mora, N. y Encinas, O. Evaluación de la durabilidad natural e inducida de Pterocarpus acapulcensis,Tabebuia serratifolia y Pinus caribaea, en condiciones de laboratorio. Revista Forestal Venezolana **2001**, 45(1), 23-31.

(14) Matei, P.M.; Martín, P.; Sánchez, M.; Hernández, S.; Correa, A.; Navas, L.M.; Rufino, C. A.; Ramos, M.C.; Martín, J. Synthesis of Chitosan Oligomers / Propolis / Silver Nanoparticles Composite Systems and Study of Their Activity against Diplodia seriata, Int. J. Polym. Sci., vol. **2015**, pp. 1–11.

(15) Martín, J.; Sánchez, M.; Hernández, S.; Pérez, E.; Martín, P.; De Araujo, C.; Matei, P. M. Composite con actividad antimicrobiana que comprende dos componentes autoensablados de origen natural y, opcionalmente, un componente (C) de tamaño nanométrico. **2014**. Solicitud de Patente No. P201431591.

(17) Boddy L. Effect of temperature and water potential on growth rate of wood-rotting basidiomycetes. *Transactions of the British Mycological Society* **1983**, *80*(1), 141-149. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(83)80175-2















































































Congreso organizado por la red para el impulso de la madera y otros materiales lignocelulósicos en el sector de la construcción

LIGNOMAD