

PLACAS ALVEOLARES PREFABRICADAS DE MADERA PARA FORJADO Y CUBIERTA

ALTERNATIVA DE UNIONES CON PASADORES DE MADERA SIN ADHESIVO



ETSAB  Máster oficial universitario "Tecnología en la arquitectura"
Línea de Construcción y nuevas tecnologías

Trabajo final de máster

Autor: Francisco Coronel Cárdenas
Director Tesina: Jaume Avellaneda Diaz-Grande
Codirector Tesina: Joaquín Montón Lecumberri

Barcelona, Diciembre 2014

RESUMEN

Esta tesina investiga las aptitudes de las placas prefabricadas alveolares de madera para su uso en forjados mediante una comparación de las actualmente existentes en el mercado. Además, propone y comprueba por medio de software y en laboratorio la alternativa de un pasador de madera para las uniones entre elementos sin adhesivo, y de unos anillos de bambú, que situados en los puntos de más esfuerzo permiten ampliar la resistencia hasta un 240%. Esto, junto con la gran capacidad para solucionar grandes luces, la posibilidad de las placas para incluir aislantes acústicos, térmicos e instalaciones y la fácil deconstrucción y sostenibilidad de las mismas, hace de estas una alternativa que puede competir con los sistemas de construcción actuales.

ABSTRACT

This thesis investigates the aptitudes of prefabricated timber hollow-box boards that are used as slabs by comparing those that are already present in the market. Moreover, I propose and test through a software and in the laboratory an alternative made of a timber fastener to unite its elements without adhesive. When bambu rings are placed where it exists more effort, resistance increase until 240%. This fact, combined with the high capacity to solve long spans, its possibility to include acoustic and thermal insulators and installations and its easy deconstruction and sustainability, makes of those wooden boards an alternative able to compete with present constructive systems.

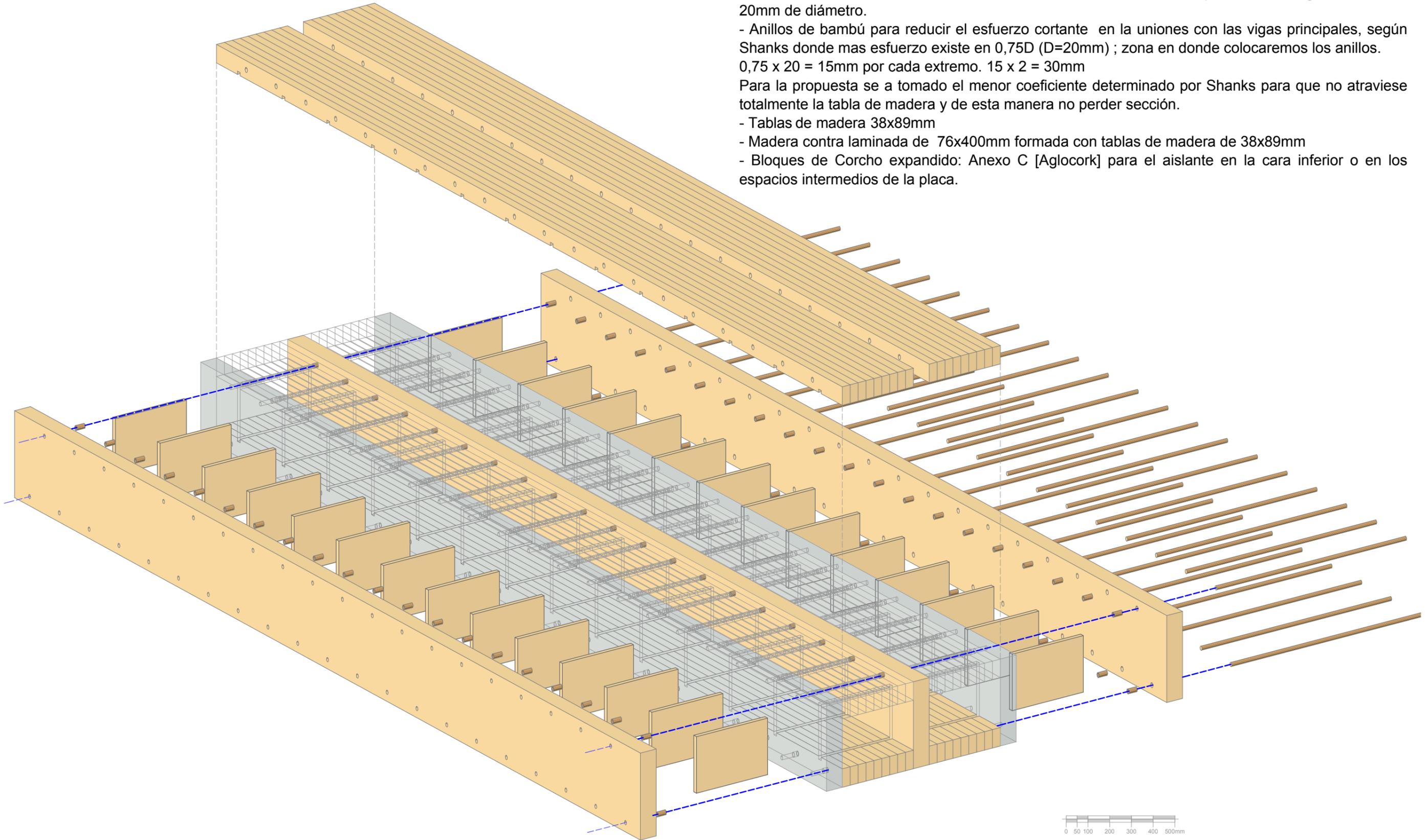
ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
Entramados de madera para forjado y cubierta en los siglos XIX y XX	9
Sistemas Emy, Stephan y Hetzer	
La industrialización de la madera	
Forjados de madera	14
Definición	
Clasificación de los tipos estructurales de madera	
Placas prefabricadas de madera para forjado y modelos: Lignatur, Kielsteg, Lignotrend, Novatop element, Bresta	17
Descripción de materiales	23
Madera	
Adhesivos	
Fabricación de las placas	26
Principales características de las placas	31
Propiedades estructurales	
Uniones y tipos	
Comportamiento al fuego	
Rendimiento acústico	
Absorción acústica	
Instalaciones	
Obras de referencia	47
Escuela superior suiza para la ingeniería de la madera	
Waingels College	
Comparación entre los modelos de placas	61
Optimización de uniones	66
Propuesta	70
Análisis estructural	71
Ensayo	73
Modelo a escala	75
Conclusiones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

PROPUESTA

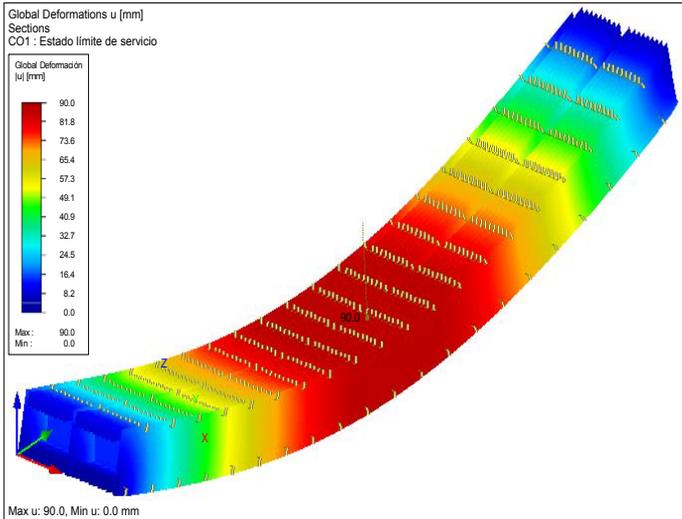
Materiales:

- Pasadores de madera maciza o de madera microlaminada enchapada DVW, según cálculo de 20mm de diámetro.
 - Anillos de bambú para reducir el esfuerzo cortante en las uniones con las vigas principales, según Shanks donde mas esfuerzo existe en $0,75D$ ($D=20\text{mm}$); zona en donde colocaremos los anillos. $0,75 \times 20 = 15\text{mm}$ por cada extremo. $15 \times 2 = 30\text{mm}$
- Para la propuesta se a tomado el menor coeficiente determinado por Shanks para que no atraviese totalmente la tabla de madera y de esta manera no perder sección.
- Tablas de madera 38x89mm
 - Madera contra laminada de 76x400mm formada con tablas de madera de 38x89mm
 - Bloques de Corcho expandido: Anexo C [Aglocork] para el aislante en la cara inferior o en los espacios intermedios de la placa.



Axonometría Despiece

94. Deformaciones Globales
95. Esfuerzos internos.



94.

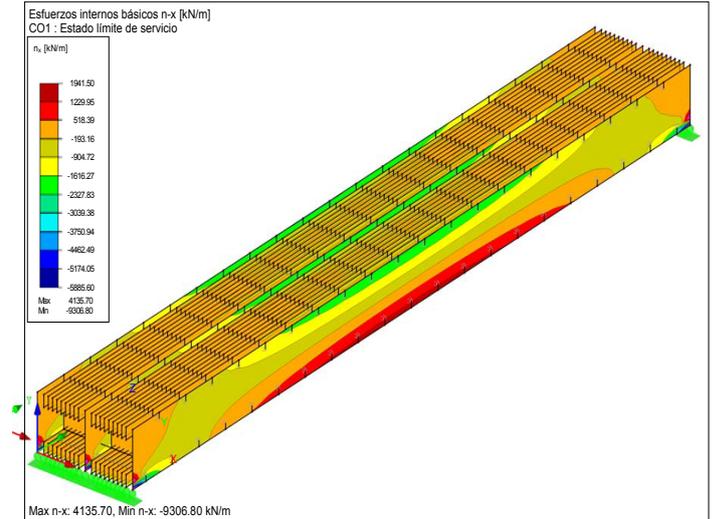
ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para comprender mejor los esfuerzos que sufren los distintos elementos de la placa, he desarrollado un modelo para el cálculo de elementos finitos en el software alemán Rfem de Dlubal, el cual es específico para este tipo de placas, y trabaja bajo la norma EN 1990.

Se ha construido el modelo con las especificaciones de la madera C24 de acuerdo al código técnico y hemos dispuesto las fibras de la madera en sentido longitudinal para aprovechar la mayor resistencia. Quizá una de las configuraciones más importantes para el análisis del modelo es el tipo de esfuerzo que se crea en los nudos y las uniones, entre los pasadores y las tablas de madera. Por eso se han tomado en cuenta el deslizamiento, los momentos y los esfuerzos cortantes que sufre el pasador.

Según los el análisis que hemos anotado anteriormente de las uniones de Thomson (2010) hemos decidido tomar la carga máxima soportada por el pasador de madera microlaminada para el análisis (Anexo. Apartado D - Análisis Estructural. Detalles límite Número 1. p.8), aunque también se ha considerado una madera de la clase coníferas C50, con un diámetro de 20mm. En nuestro caso el pasador atraviesa perpendicularmente las fibras de la madera y soportaría aproximadamente una carga de 9.5 kN (figura 91).

Se ha aplicado una carga distribuida uniforme a lo largo de las caras superiores de las tablas y de las vigas principales que tiene una magnitud del peso propio (en este caso es muy liviano) y una sobrecarga



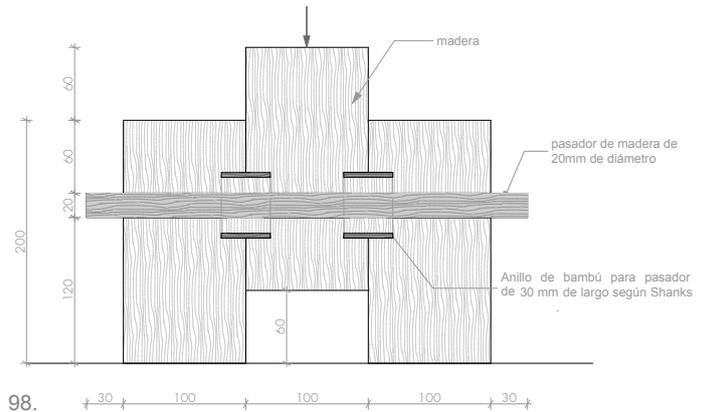
95.

de uso, que sumados dan 2 kN/m, suponiendo que no se recubrirá con otras capas adicionales. El análisis del prototipo demuestra que mientras más canto tengan las vigas principales menor será el esfuerzo en el sentido Y (horizontalmente) porque se pandea menos la placa, haciendo que las distancias entre los pasadores varíen menos.

Hemos puesto especial atención en los pasadores, ya que son los que unen todo el conjunto. Tras diseñar la placa para salvar una luz de 6,3 metros observamos que la cara superior recibe la carga de uso y la carga muerta, por lo tanto los pasadores de esta cara sufren más que los que se encuentran en la cara inferior. Además los mayores esfuerzos ocurren cuando los pasadores están más cerca de las vigas principales como demuestra la figura 95 y 96.

El cálculo revela que el valor máximo del esfuerzo cortante Vz (sentido vertical) en los pasadores es de 4,75 kN (Anexo. D - Análisis Estructural. Cálculo de límites. 2.1 Cálculo por cargas. pag 8), el cual es casi la mitad del máximo admitido por los pasadores de madera microlaminada propuestos.

- 98. Probeta
- 99. Construcción
- 100. Detalle de probeta construida
- 101. Prensado.



98.

ENSAYO

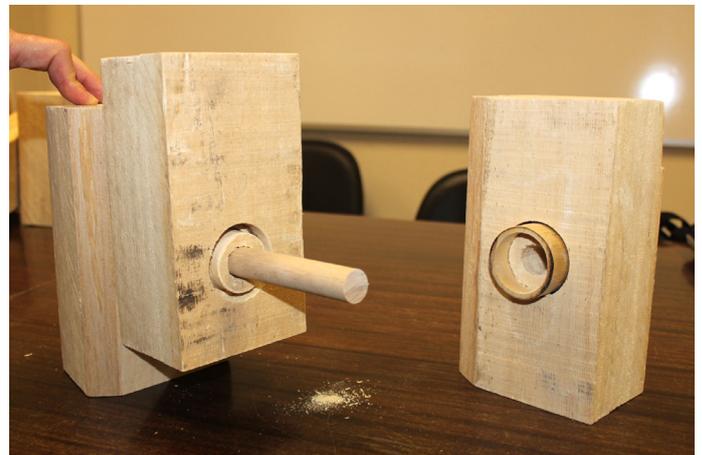
Para evitar usar materiales procesados y de fácil obtención y según los resultados del cálculo, hemos desarrollado una opción en donde se podrían usar pasadores que sean de madera de haya. Para mayor seguridad en los lugares más cercanos a las vigas principales lo hemos reforzado con anillos de bambú.

Para esta solución se han construido dos probetas, una solo con el pasador y otra con el pasador y refuerzo, las cuales fueron sometidas a compresión en el Laboratorio de Materiales del ETSEB (UPC).

- Los bloques de madera son de madera Koto (Anexo apartado E).
- El pasador es de madera haya de 20mm de diámetro.
- Los anillos son de bambú y miden 30 mm de largo y 50 de diámetro.



99.



101.



100.

MODELO A ESCALA REDUCIDA



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros y revistas

Architecture d'Aujourd'hui. Ecole technique à biel. No. 299/1995

AV MONOGRAFÍAS. Escuela de ingeniería maderera. Biel. , No. 89/2001

ARQUITECTURA VIVA. La presencia de las cosas. No. 41/1995

BOTTER, C.H. *Production Management*. Deventer, Kluwer, 1999.

CHINELLATO, P., & MARA, F. . *Blonde on blonde waingels college*. Architects' Journal, 235(10), 38-41. Retrieved. 2012

BERGE, Bjorn. *The ecology of building materials*. Routledge. Material Architecture, J. Fernández. Ed. Architectural Press, 2009.

DA SOUSA CRUZ, Paulo J. (ed.). *Structures and Architecture: New concepts, applications and challenges*. CRC Press, 2013.

HERZOG, Thomas (et al.). *Timber construction manual*. Basel: Birkhäü-ser, 2004.

KOLB, Josef. *Systems in timber engineering: loadbearing structures and component layers*. Walter de Gruyter, 2008.

MOSTAFAVI, Mohsen. *The swiss school of engineering for the wood industry* , AA files, Nr. 39/1999.

PUIG, Ramiro. *Las colas para madera y su empleo*. CTB nº 55 1975.

SERON-PIERRE, Catherine. *Construction Bois*. AMC Le Moniteur Architecture, No. 59/1995.

THELANDERSSON, Sven; LARSEN, Hans J. (ed.). *Timber engineering*. John Wiley & Sons, 2003.

WAA. *Guía de la madera I-II Construcción y estructuras*. AITIM, 2014.

WAA . Marcel meili, Markus Peter Architects. *Swiss school of engineering for the wood industry*. Architecture and urbanism, nr. 366/2001.

Tesis y tesinas

Andrew Thomson. *The Structural Performance of Non-metallic Timber Connections*. Tesis de doctorado en la University of Bath, 2010.

CHEN, Yue. *Structural performance of box based cross laminated timber system used in floor applications*. University of British Columbia, 2011.

GORDAN, Grand. *Evaluation of timber floor systems for fire resistance and other performance requirements*. Director: Profesor Andrew Buchanan, "Fire Engineering Research Report. Department of Civil Engineering", University of Canterbury. Christchurch, Nueva Zelanda, 2010.

Shanks, J. *Developing rational guidelines for traditional joints in oak frame construction*. Tesis de doctorado en la University of Bath, 2005.

VIOTTO, Umberto. *El tablero contralaminado. Actualidad de una alternativa para la media altura*, Director: Jaume Avellaneda Diaz-Grande. Máster oficial universitario "Tecnología en la arquitectura", línea de construcción y nuevas tecnologías. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, Septiembre 2013.

WADEL, Gerardo. *La sostenibilidad en la construcción industrializada la construcción modular ligera aplicada*

a la vivienda. Director de tesis: Jaume Avellaneda. Programa de doctorado Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio ambiente en la Arquitectura. Universidad Politécnica de Cataluña, Julio del 2009.

Artículos científicos

COSTAFREDA, J., PARRA, J., CALVO, B. *Materiales de construcción: Criterios de sostenibilidad y desarrollo*. VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Lima - Perú. Agosto de 2010.

DU PLESSIS, Chrisna. *A strategic framework for sustainable construction in developing countries*. Construction Management and Economics, 2007, vol. 25, no 1, p. 67-76

FRANKE, S., HAUSAMMANN, R. *A modular timber construction system made with ribbed-box or rather hollow-box elements*. Bern University of Applied Sciences, Biel, Switzerland. 2013.

HORMIAS, E.; BESTRATEN, S. *Madera y prefabricación escolar: los paneles de madera contralaminada KLH como solución en la construcción de módulos escolares prefabricados*. AITIM: boletín de información técnica, Abril 2009, vol. Noviembre-diciembre 2009, nº262.

Artículos

GÖRAN SANDBERG, Lars. *Ventajas ecológicas de la madera como materia prima*. Aitim Boletín de información técnica nº 218, pag 50, julio-agosto de 2002

GARCÍA NAVARRO, Justo; DE LA PEÑA, Eduardo. *Breve Historia de la madera en la construcción*. AITIM. Boletín de información Técnica Nº 224. Barcelona. Julio - Agosto 2003.

Sitios web

- Lignatur AG. www.lignatur.ch/. Visitada en diciembre 2014

- Vídeo de la fabricación de los productos Lignatur. https://www.youtube.com/watch?v=E--f_xwRY5c. Visitada en diciembre 2014

- Kielsteg GmbH. www.kielsteg.at/. Visitada en diciembre 2014

- Vídeo de la fabricación de los productos Kielsteg. <https://www.youtube.com/watch?v=KhakLw3xAQU>. Visitado en diciembre 2014

- Lignotrend - Für eine nachhaltige Holz-Baukultur. www.lignotrend.de/. Visitada en diciembre 2014

- Novatop. www.novatop-system.cz/es/. Visitada en diciembre 2014

- Vídeo de la fabricación de los productos Novatop. <https://www.youtube.com/watch?v=pkWOkeTZrtU>. Visitada en diciembre 2014.

- BRESTA®. <http://www.tschopp-holzbau.ch/>. Visitada en diciembre 2014

- Detalle técnico de los productos Bresta. http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/cgi-bin/cc/files/download/1.11.%20planungsordner/1.11.2%20oberfl%C3%A4chen/profil-%20und%20behandlungshandbuch%20version%2003.7.2014%20fuer%20homepage.pdf Visitado en diciembre 2014.

- Vídeo de la fabricación de los productos Bresta. https://www.youtube.com/watch?v=3LFo_fQKBMU. Diciembre 2014

- <http://www.inholz.de/produkte/brettstapel-elemente/plusminus-20-si>. Visitada en diciembre 2014

- Swiss school of engineering for the wood industry Bienne

<http://www.meilipeter.ch/de/>. Visitada en diciembre 2014

<http://www.meilipeter.ch/portfolio/schweizerische-hochschule-fur-/>. Visitada en junio-2014

- RFEM Software para calculo de elementos finitos y diseño de estructuras de madera. <https://www.dlupal.com/es/>. Visitada en junio-2014