

## ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA MADERA DE PINO Y DE EUCALIPTO PARA DIVERSAS TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Guaita Fernández, M. \*; Eiras Abeledo, A.

Dpto. Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior.  
Universidad de Santiago de Compostela.c/ Benigno Ledo s/n 27002 Lugo. España.

\*Autores para la correspondencia: [guaita@lugo.usc.es](mailto:guaita@lugo.usc.es)

Boletín del CIDEU 4: 71-76 (2007)

ISSN 1885-5237

### Resumen

El presente trabajo aborda el análisis de los datos obtenidos fruto del cálculo de diversas tipologías estructurales realizadas en madera de *Eucalyptus globulus* Labill. en comparación con aquellas realizadas en madera de *Pinus sylvestris* L. que tradicionalmente se viene empleando.

Para poder extraer unas conclusiones fiables sobre la comparativa entre las especies, se han estudiado diversas tipologías estructurales diferenciándose dos grupos: cubiertas y forjados. En cuanto a cubiertas se refiere, se ha planteado el estudio de la cercha denominada “cercha de pendolón y tornapuntas”. Para ello se han propuesto distintas luces y acciones. Por otra parte las viguetas de forjado se han obtenido suponiendo diversas luces de cálculo.

El estudio de aquellas piezas de carácter estructural secundario, como correas y viguetas de forjado pone de manifiesto las excelentes propiedades mecánicas de la madera de eucalipto, arrojando unos valores de sección resistente menores que los obtenidos con los sistemas estructurales homólogos realizados en madera de conífera. Para la estructura principal, el trabajo presenta las diferencias de dimensionado para los casos estudiados ya que las conclusiones se centran en la especificidad de cada caso.

**Palabras clave:** Estructuras de madera, madera laminada encolada de eucalipto.

### Summary

**Comparative study between Eucalyptus and Pinus wood of diverse structural kinds.**

The present work approaches the analysis of the obtained information fruit of the calculation of diverse structural kinds realized in wood of *Eucalyptus globulus* Labill. in comparison with those realized in wood of *Pinus sylvestris* L. that traditionally one comes using.

To be able to extract a few trustworthy conclusions on the comparative one between the species, diverse structural kinds have been studied differentiating two groups: roofs and floors. As for roofs it refers, there has appeared the study of the truss. For it they have proposed different lengths and loads. On the other hand the joists of floor have been obtained supposing diverse lengths.

The study of those pieces of structural secondary character as joists of floor, it puts of manifest the excellent mechanical properties of the wood of eucalyptus, throwing a few minor values of resistant section that the obtained ones with the structural systems counterparts realized in wood of coniferous. For the main frame, the work presents the differences of sizes for the studied cases since the conclusions depend on the each case.

**Keyword:** Structural wood, eucalypts laminated venner lumber

## INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta tiene por objeto evaluar la sección resistente obtenida en el análisis de diversas tipologías estructurales realizadas con madera laminada encolada de *Eucalyptus globulus* Labill. en comparación con aquellas realizadas en madera de *Pinus sylvestris* L. (tanto en madera aserrada como en madera laminada encolada).

Diversos ensayos, estudios y publicaciones realizados hasta la fecha muestran las excepcionales propiedades mecánicas de la madera de eucalipto, lo que unido a sus valores de densidad, dureza y a la ya implantada tecnología de fabricación que garantiza su calidad como madera estructural, hacen que esta madera pueda ofrecer soluciones estructurales frente a la de pino.

Para poder extraer unas conclusiones fiables sobre la comparativa entre las especies, se han estudiado diversas tipologías estructurales diferenciándose dos grupos: cubiertas y forjados. En cuanto a cubiertas se refiere, se ha planteado el estudio de la cercha denominada “cercha de pendolón y tornapuntas”, así como de las correas correspondientes. Para ello se han propuesto distintas luces y acciones. Por otra parte las viguetas de forjado se han obtenido suponiendo diversas luces de cálculo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para los diversos cálculos estructurales que se plantean se emplearon hasta un total de tres clases resistentes.

Se ha asignado a la madera de pino las clases resistentes C18 para las piezas realizadas en madera aserrada y GL24h para aquellas realizadas en madera laminada encolada, según normativa UNE

EN 338 y UNE EN 1194, respectivamente. Dicha asignación responde a que son las más comúnmente empleadas por las empresas del sector en la actualidad.

Se está generando una revisión actual de la norma de clases resistentes UNE EN 338 en la que se especifica la asignación de una clase resistente D40 para la madera de eucalipto. Según norma UNE EN 1912, se le asignará una clase resistente D40e pero con un valor del módulo de elasticidad medio ( $E_{0,med}$ ) de 184.300 daN/cm<sup>2</sup>

En las fechas de realización del presente estudio no se tenía conocimiento de esta información, por lo que a falta de datos según normativa que permitiese realizar una atribución de clase resistente a la madera de eucalipto, tanto para madera aserrada como para laminada, la experiencia de otros técnicos en la realización de cálculos con esta especie en otros proyectos, llevó a atribuir al eucalipto una clase resistente D40, pero con diferente valor del módulo de elasticidad medio ( $E_{0,med}$ ), que en el eucalipto es claramente mayor que el que propone dicha clase resistente. Por tanto, se ha considerado lo que se denomina propiedades de la clase resistente “D40 especial” (D40e) con los siguientes valores en el Sistema Internacional de unidades que son los de una D40, según la norma citada, excepto el  $E_{0,med}$  que pasa de 110.000 a 170.000 daN/cm<sup>2</sup>.

Todas las estructuras analizadas en el presente estudio se encuentran bajo cubierta y cerradas. Por lo tanto, se ha considerado una clase de servicio 1.

Se considera estabilidad a fuego durante 30 minutos por considerar el uso como vivienda unifamiliar. Además, la cara superior de las viguetas de forjado y correas de cubierta se considerarán no expuestas al fuego, por encontrarse en contacto con una

superficie que en caso de incendio proporcionaría protección. El resto de las tres caras, así como pares, pendolón, tirante y tornapuntas de la cercha sí se encontrarían expuestos a la acción del fuego. Se ha considerado una velocidad de carbonización de 0,5 mm/min para la madera de eucalipto frente a los 0,8 mm/min que caracterizan a la madera de conífera.

### ANÁLISIS DE CUBIERTAS

A su vez se dividen en dos elementos estructurales objeto de cálculo:

- Correas
- “Cercha de pendolón y tornapuntas”

Las cerchas poseen unas luces de 6, 7,5, 9, 10 y 15 m. En las tres primeras geometrías se ha considerado la comparativa C18 frente a D40e, así como una distancia entre cerchas de dos metros y medio. Ésta será por tanto la luz de las correas correspondientes. Para el resto de luces (10 y 15 m), se ha empleado madera laminada encolada de pino, por lo que la comparativa se establece entre las clases resistentes GL24h y D40e. En este caso, la distancia entre cerchas, y por tanto la luz de las correas a calcular, se ha fijado en 5 m.

Las acciones consideradas en el cálculo de cubiertas fueron las siguientes:

CARGA PERMANENTE: 95,1 daN/m<sup>2</sup>

Panel sándwich: 20,1 daN/m<sup>2</sup>

Plancha ondulada de fibrocemento: 15 daN/m<sup>2</sup>

Teja: 60 daN/m<sup>2</sup>

(Para el cálculo de cerchas se tuvo en cuenta el peso de las correas correspondientes)

SOBRECARGA DE USO UNIFORME EN CUBIERTAS: 100 daN/m<sup>2</sup>

SOBRECARGA PUNTUAL DE MANTENIMIENTO: 100 daN (sólo para correas)

NIEVE: se consideraron cargas de nieve de 40, 60 y 100 daN/m<sup>2</sup>

VIENTO: las acciones de viento vienen dadas por las tres zonas eólicas que se localizan en Galicia (se ha considerado situación normal, mas del 33% de huecos, altura de la edificación 6 m y ángulo de inclinación de 26,56°):

Viento W:

HIPÓTESIS A: 30,72 daN/m<sup>2</sup> (m)

HIPÓTESIS B: -38,46 daN/m<sup>2</sup> (m)

-69,5 daN/m<sup>2</sup> (n)

Viento X:

HIPÓTESIS A: 33,87 daN/m<sup>2</sup> (m)

HIPÓTESIS B: -42,47 daN/m<sup>2</sup> (m)

-77 daN/m<sup>2</sup> (n)

Viento Y:

HIPÓTESIS A: 37,69 daN/m<sup>2</sup> (m)

HIPÓTESIS B: -47,48 daN/m<sup>2</sup> (m)

-85,50 daN/m<sup>2</sup> (n)

Las posibilidades de combinación entre cargas de viento y nieve establecen los casos calculados. Esto es, tres casos de nieve combinados con tres casos de viento dan como resultado nueve posibles combinaciones para cada luz de cálculo, y todo esto para cada especie, obteniendo como resultado final dieciocho casos por luz de cálculo, totalizando por tanto, 90 cerchas calculadas.

Las correas se han calculado para las dos luces que salvan, es decir dos metros y medio de luz para las correas correspondientes a las cerchas de 6, 7,5 y 9 m, y cinco metros de luz para las correas de las cerchas de 10 y 15 m. Para cada geometría de cercha se estudiaron distintas

separaciones de colocación de correas con el fin de evaluar el óptimo (en términos de volumen) para cada caso particular, totalizando 108 casos de cálculo. Las distintas separaciones entre correas vienen dadas por las distancias entre apoyos que admite el panel sándwich de las principales casas comerciales.

### ANÁLISIS DE FORJADOS

Las acciones consideradas en el cálculo de las viguetas de forjados fueron las siguientes:

CARGA PERMANENTE: 56,7 daN/m<sup>2</sup>

Panel sándwich (especial forjados): 28,7 daN/m<sup>2</sup>

Corcho aglomerado sobre rastrel: 28 daN/m<sup>2</sup>

SOBRECARGA DE USO: 300 daN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga de uso en viviendas: 200 daN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga debida a la tabiquería: 100 daN/m<sup>2</sup>

SOBRECARGA PUNTUAL DE MANTENIMIENTO: 100 daN

Se ha estudiado la separación de las viguetas de forjado a las distancias de 60, 80 y 120 cm, resultando como óptima (desde el punto de vista del volumen), la separación de 120 cm para todos los casos analizados (un total de 24 casos de cálculo).

Las luces de cálculo consideradas han sido: 3, 4, 5 y 6 m. Para la luz de tres metros, la comparativa se ha establecido entre las clases resistentes C18 y D40e. Para el resto de luces, se procede al empleo de madera laminada de pino (GL24h), puesto que para estos casos de cálculo se requiere de secciones mayores que las secciones comerciales que aporta la madera aserrada de conífera.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, ponen de manifiesto las excelentes propiedades mecánicas de la madera de eucalipto.

- Para correas de dos metros y medio de luz, se puede cuantificar la diferencia en volumen en un 31% a favor del eucalipto. Para la otra casuística analizada (cinco metros de luz) se ha apreciado como la sección es aproximadamente la misma para ambas especies a pesar de que las correas realizadas en madera laminada de eucalipto soportan un ancho de paño notablemente superior al que soporta la correa de pino (interese óptimo de 120 cm para las correas realizadas en madera laminada encolada de eucalipto, frente al interese de 80 cm que ha resultado óptimo para las correas realizadas en madera aserrada de pino). Además, si se observan los índices de cálculo correspondientes (Estado Límite Último, Estado Límite de Servicio y comprobación de cálculo en situación de incendio), se puede apreciar que resultan más favorables para la especie *Eucalyptus globulus Labill.*, todo ello para un interese 0,4 m mayor. Además, se alcanza un ahorro en volumen de hasta el 27% empleando madera laminada encolada de eucalipto.

- Al analizar los resultados obtenidos en el cálculo de cerchas se puede apreciar cómo la mejora de sección que se consigue mediante la utilización de madera de eucalipto va disminuyendo de manera notable conforme se avanza por las distintas luces de cálculo planteadas. Esto es debido a que una estructura de cubierta de eucalipto que soporta correas de la misma especie, sostiene más peso (la densidad de la madera de eucalipto supera al doble de la densidad del pino) que aquellas construidas íntegramente con madera de pino. Esta carga permanente extra que aporta el eucalipto y que además afecta al dimensionado por la influencia de la

duración de la carga, provoca que el ahorro de madera que se produce debido a la elección de esta especie de madera en lugar de la de pino vaya disminuyendo conforme aumenta la luz de la estructura principal, puesto que al aumentar la luz, aumenta el número de correas así como la longitud de las mismas, sometiendo a la estructura principal a una carga de carácter permanente mayor, llegando a ser en el peor de los casos de 71,54 daN/m más en el caso de cubiertas de eucalipto. Además para luces grandes (10 y 15 m) se recurre a una clase GL24h para la madera de conífera, de mejores características resistentes que la C18 con la que se compararon los primeros casos (luces de 6, 7,5 y 9 m), lo que ayuda a disminuir la diferencia entre especies.

- Los resultados obtenidos fruto del análisis de las viguetas de forjado demuestran que se puede llegar a ahorrar hasta casi un 30% en volumen, en el mejor de los casos, si se opta por una vigería realizada en madera laminada de eucalipto. Además, si analizamos los diferentes índices de cálculo, aún resultando menor sección con el empleo de madera laminada de eucalipto, ésta presenta un mayor alejamiento de la situación de colapso estructural en la mayoría de los casos, en relación con las viguetas de pino silvestre, para soportar la misma carga.

## CONCLUSIÓN

En una primera y lógica aproximación el dimensionado con madera laminada encolada de eucalipto, éste proporciona escuadrías menores frente a la madera, tanto aserrada como laminada, de pino al tener mayor resistencia característica a flexión y mayor módulo de elasticidad. Esto se confirma tras el estudio, en aquellas piezas de carácter estructural secundario como son correas y viguetas de forjado. En cuanto a la estructura principal, se concluye que el principal ahorro (hasta de un 43%) se produce para estructuras de pequeña luz y frente a madera aserrada de pino. En el momento en el que la comparativa se centra frente a madera laminada encolada de pino, la mejora de las propiedades resistentes de ésta con respecto a la madera aserrada, manteniendo la misma densidad, hace que el ahorro en volumen derivado del empleo de madera laminada encolada de eucalipto se reduzca hasta anularse.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto titulado: “*Simulación numérica de uniones tradicionales y evaluación de la pérdida de resistencia que los defectos generan en la madera estructural*” y cofinanciado por los fondos FEDER con código AGL 2005-04418/FOR

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

UNE EN 338 “Madera estructural. Clases resistentes”

UNE EN 1194 “Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos”

UNE EN 1912 “Madera aserrada. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies”

Argüelles Álvarez, R.; Arriaga Martitegui, F. & Martínez Calleja, J. J. (2003). Estructuras de Madera. Diseño y Cálculo. AITIM.

Bermúdez Alvite, J. D.; Touza Vázquez, M. C. & Sanz Infante, F. (2002). O Manual da Madeira do Eucalipto Branco. CIS-MADERA.

UNE EN 1995-1-1 Proyecto de estructuras de madera. Reglas generales y reglas para la edificación

NBE AE/88 Norma Básica de la Edificación de Acciones en la Edificación

NTE ECV-88 Norma Tecnológica de la Edificación de Acciones de Viento