

TÍTULO

INVESTIGACIÓN SOBRE LA POSIBILIDAD TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE PINOS ANDALUCES, COMO BASE PARA LA FABRICACIÓN DE MLE.- SU COMPORTAMIENTO AL FUEGO Y REPERCUSIÓN EN SU VALOR AÑADIDO.

AUTORES Y DIRECCIONES

I. CUEVAS¹; F.J. JIMÉNEZ¹; J.E. POVEDANO²

¹ Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba.

² Laboratorio de Control de Calidad. Consejería de Obras Públicas. Junta de Andalucía.

RESUMEN

Este trabajo, derivado del Proyecto de Investigación FEDER-CYCIT, ref. 1FD97-0932, tiene como fines caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de maderas de pinos andaluces; fabricar prototipos de MLE con maderas de pequeñas dimensiones anteriormente caracterizadas; realizar ensayos de control de calidad de dichos prototipos en el Laboratorio de Control de Calidad de Sevilla, de acuerdo a normas de ensayos europeas y estudiar su comportamiento ante un incendio desarrollado, mediante ensayos en el Laboratorio del Fuego LICOF de AFITI (Asociación para el Fomento de la Investigación y la Tecnología de la Seguridad contra Incendios), aportando soluciones a los puntos débiles de las estructuras frente al fuego.

Con todo ello se conseguirá una transferencia tecnológica al sector industrial andaluz de la madera. El desarrollo de esta tecnología va a repercutir en el desarrollo económico y social de Andalucía, ya que generará mano de obra del territorio, al utilizar materia prima autóctona y realizar su transformación en una industria de la comunidad andaluza.

P.C.: Madera Laminada Encolada, Resistencia al Fuego, Vigas, Pilares.

SUMMARY

This work, derived of the Project of Investigation FEDER-CYCIT, ref. 1FD97-0932, has as ends to characterize the physical and mechanics of andalusian pine's wood; to make MLE's prototypes with woods of small dimensions before qualified; to realize essays of quality control of those prototypes in the Laboratory of Quality's Control in Seville, according to rules of europeans essays and to study its comporment in the presence of a developed fire, through essays in the Laboratory of Fire LICOF of AFITI (Association for the Fomentation of the Investigation and Technology of the Security against Fire), giving solutions to weak points of the structures against fire.

With all this, it will be obtained a technologic transfer to wood's andalusian industrial sector. The Development of this technology goes to rebound in the economic and social development of Andalusia, as it will produce a labour of the territory, at utilize autochthonous staple and create its transformation in a industry of the andalusian community.

K.W.: Laminated and Stuck Wood, Resistance to Fire, Beans, Pillars.

INTRODUCCIÓN

Todos los procesos de transformación, parten de la madera en rollo extraída del monte, en piezas de tamaños acordes con el tipo de especie forestal de la que procede. Las principales especies maderables en España no dan fustes más allá de los 10 a 15 m, por lo que la obtención de piezas de grandes longitudes para construir estructuras de grandes luces (30 a 40 metros) en recintos deportivos, centros comerciales, etc. es prácticamente imposible, necesitándose para ello recurrir a la fabricación de piezas de estas dimensiones bajo la tecnología de uniones de piezas de madera de dimensiones reducidas mediante encolado con colas, la mayoría de las veces basándose en resorcina, obteniendo la llamada MLE.

España es un país deficitario en madera, se importa más del 50% de la madera que se consume, pero sin embargo se desaprovechan en el monte porcentajes importantes de maderas de pequeñas dimensiones que no se aprovechan debido al alto coste que supone ello en relación a su posible utilización en la industria de la transformación primaria.

Por otro lado las dos o tres empresas existentes en España dedicadas a la fabricación de MLE, importan la materia prima utilizada y realizan su fabricación y control de calidad basándose en tecnología extranjera sobre la base de la nula experiencia existente en nuestro país al respecto.

En un sentido más preciso este estudio viene justificado por las siguientes consideraciones:

- El conocimiento de los comportamientos, en todas las situaciones de servicio, incluso ante un fuego

desarrollado, de la MLE fabricada con maderas nacionales es fundamental para el desarrollo de cualquier empresa que quiera dedicarse a la producción de dicho material.

➤ La MLE, que en Europa tiene un amplio mercado avalado por varias décadas de desarrollo y experimentación, se empezó a utilizar en España de una forma tímida en los comienzos de los años 80. Las primeras empresas provenían de Francia, pero al poco tiempo se abrieron tres empresas nacionales, todas ellas en la zona norte (dos en Galicia y una en Vitoria).

➤ En la actualidad el volumen de MLE facturado en España alcanza la cifra anual de 2.300 millones de pesetas que traducido en volumen de madera, considerando un precio medio de 150.000 ptas/m³, se obtendría un consumo en torno a los 15.000 m³/año; lo que indica un enorme potencial para este material de construcción, teniendo en cuenta que una de sus principales aplicaciones es la construcción de edificios de uso común social y polivalente, de los que hay un escaso equipamiento en nuestro país.

➤ El otro gran mercado de la MLE es, el de las vigas rectas en tamaños estándar, el cual está muy poco desarrollado en España y es de gran interés porque su campo de aplicación es muy grande en pequeñas partidas, pero no es rentable por la actual altísima repercusión en el coste del transporte.

➤ Las fábricas de MLE más próximas a Andalucía son las de Vitoria y La Coruña, a una distancia media de 700 y 1000 km de las capitales andaluzas. Esto hace que en los pedidos de 15 a 20 m³, la incidencia del transporte oscile entre 15.000 y 25.000 ptas/m³, cifra que podría ser rebajada si la fábrica estuviera ubicada en Andalucía. Por supuesto estas cifras se duplican en el momento en que la MLE hay que traerla de Francia (Las Landas, Bretaña o Los Vosgos/Selva Negra).

➤ La demanda y el consumo de la MLE va creciendo en progresión geométrica, en la Comunidad de Andalucía, por lo que la consecuencia de los resultados satisfactorios de este Proyecto es situar en ella una fábrica de dicho material que será altamente beneficioso para todos los sectores susceptibles de utilizarla, desde el privado hasta la propia Administración, principal cliente y promotora de los mencionados equipamientos comunales y edificios deportivos y polivalentes.

➤ La implantación de dicha fábrica reviste además un alto interés social ya que por una parte aumenta el valor de la madera (patrimonio de muchos Ayuntamientos de la Zona del Entorno de Doñana, objeto de numerosas actuaciones de desarrollo sostenible), uno de los fines de este proyecto (demostrar la viabilidad de la materia prima de la zona y revalorizarla en la medida que se lo merece) y por otra crea puestos de trabajo en zonas deprimidas, pero en las que hay buena mano de obra para la madera. Igualmente de la puesta en funcionamiento de esta industria se podrá derivar la consolidación de más puestos de trabajo.

➤ El beneficio de la producción de MLE con maderas de los montes de la región, repercutirá de una forma importante, en regiones limítrofes como Extremadura, Castilla La Mancha y Murcia, poseedoras de montes proveedores de madera y potenciales consumidores del producto elaborado.

Conforme a lo anteriormente expuesto, el objetivo final es la elaboración de Documentos Técnicos de Idoneidad sobre el comportamiento al fuego de elementos estructurales de MLE para la construcción civil (vigas), fabricados con maderas de las especies maderables españolas, centrándose en las coníferas procedentes de montes de la Comunidad Autónoma de Andalucía: *Pinus pinea* de Hinojos (Huelva) y Punta Umbría (Huelva), *Pinus nigra* de El Jaral-Río Madera en la Sierra de Segura (Jaén) y *Pinus pinaster* de Navahondona en la Sierra de Cazorla (Jaén).

Para alcanzar esto se establecen como objetivos específicos, los siguientes:

➤ Caracterización macroscópica.

➤ Determinación en probetas de pequeñas dimensiones, mediante ensayos, propiedades físicas y mecánicas.

➤ Realización de ensayos de control de calidad, para determinar las características mecánicas de los elementos estructurales (vigas de MLE).

➤ Cálculo, mediante ensayos reales en el Laboratorio del Fuego, del comportamiento al fuego de dichos elementos estructurales y del comportamiento al fuego de diversos conjuntos estructurales.

➤ Estudio del comportamiento al fuego de las uniones de los elementos estructurales y obtención de un método para su protección, básico para poder calcular la Resistencia al Fuego de una estructura de MLE.

Con todo ello se pretende despejar ideas preconcebidas erróneas del comportamiento de estructuras de madera frente al fuego a la vez que se consigue una transferencia tecnológica al sector de industrias de madera de Andalucía; pues se sabe que existe en esta comunidad autónoma la suficiente capacidad, tanto de aportación de materia prima como de tecnología para la transformación de la madera, solo que hasta el momento no ha habido una conexión entre la industria, la Universidad y los Centros Tecnológicos, lo cual se pretende iniciar con este trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se ha llevado a cabo siguiendo cuatro etapas:

En la etapa de pre-campo se recopiló toda la información cartográfica, botánica y normas UNE y EN,

para definir de manera adecuada las zonas de muestreo. Para ello se utilizaron los siguientes materiales:

- Mapas 1:10.000 de la Junta de Andalucía.
- Normas UNE y UNE-EN.

En la etapa de campo se llevó a cabo la selección y colección de muestras para la caracterización macroscópica, de probetas para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas y de tablas para la fabricación de vigas de MLE. Las zonas de muestreo se eligieron considerando dos criterios esenciales: accesibilidad y existencia de una cantidad significativa de las especies. En cada zona de extracción se seleccionaron de 10 a 15 árboles, los cuales fueron elegidos al azar teniendo en cuenta características, como: diámetro mínimo a la altura del pecho de 20 cm (el cual fue medido con una forcípula), de buen fuste (también fue medido con una cinta métrica) y que se encuentre sano. Después de haber realizado el apeo y desramado del árbol, se dividió el fuste en trozas de 2,5 metros de longitud. De la parte superior de la primera troza de cada árbol (la más cercana al suelo) se señaló una rodaja de 50 a 70 cm de espesor, de la cual se sacarían las probetas de pequeñas dimensiones para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Y de la parte inferior de esta misma troza se señaló otra rodaja de unos 15 cm de espesor, para la determinación en ella de las características macroscópicas. En los aserraderos se procedió al corte de las dos rodajas de cada árbol, y con el resto de las trozas se sacaron tablas, de 45 mm de espesor y anchura y altura la que dieran las trozas, para la fabricación de las vigas de MLE. Las dos rodajas de cada árbol fueron transportadas al Laboratorio de Control de Calidad de Sevilla y las tablas se llevaron a la fábrica INGENIUM'21 de la Puebla de Cazalla (Sevilla).

La etapa de obtención del material a estudiar consistió en la preparación de las probetas de pequeñas dimensiones (Norma UNE 56-528-78) y en la fabricación de las vigas de MLE (Normas UNE-EN 386:1995 y UNE-EN 390:1994). De las probetas obtenidas, se seleccionaron las mejores. De éstas se escogieron un número determinado por ensayo y por árbol. Una vez cortadas y seleccionadas las probetas, éstas se colocaron en ambiente normalizado hasta que adquirieron la humedad de equilibrio (12 %).

Para la fabricación de las vigas de MLE se llevaron a cabo las siguientes actividades: apilado de las tablas (Foto 3), realizado según lo expuesto por Álvarez (1.990); control del secado de las mismas, mediante medición de su humedad con un xilohigrómetro de resistencia (Norma UNE 56-530-77), hasta que alcanzaron un contenido de humedad comprendido entre el 8 y el 15 %; preparación de las tablas (se cortaron y cepillaron para que adquirieran una longitud de 3 y 4,5 m y un grueso de 33,3 mm. Así mismo se hizo un saneamiento de las mismas); mecanizado de los empalmes con uniones dentadas en las láminas; pesado y mezcla de la resina (Cascosinol 1711) y el endurecedor (endurecedor 2622) en las proporciones adecuadas; aplicación uniforme del adhesivo (Tipo I) y en la cantidad adecuada (400 g/m²) en un plazo no superior a 24 h después del cepillado; prensado, asegurando una presión uniforme de 6kg/cm² sobre toda la línea de adhesivo; fraguado. Para cada especie, el número de vigas fabricadas para los ensayos de resistencia, delaminación y esfuerzo cortante fue seis y para resistencia al fuego se utilizaron cuatro vigas.

En la etapa de laboratorio se realizaron las siguientes actividades:

- Las rodajas que se cortaron de unos 150 mm de espesor pesadas y medidos sus diámetros, con y sin corteza, así como los diámetros de duramen. Igualmente se anotaron el número total de anillos de crecimiento y los correspondientes al duramen. Con todos estos datos, se calcularon el número medio de anillos (totales y de duramen) por centímetro, el porcentaje de duramen en diámetro y el porcentaje de corteza en peso y en diámetro.
- En las rodajas de 50 a 70 cm de espesor, las propiedades físicas estudiadas fueron: textura, contenidos de humedad, pesos específicos, higroscopicidad, contracciones lineales y volumétricas, coeficiente de contracción, porosidad y humedad máxima, las cuales se determinaron según las normas UNE 56-529-77, 56-530-77, 56-531-77, 56-532-77 y 56-533-77 respectivamente. Las propiedades mecánicas estudiadas fueron: resistencia mecánica a la flexión estática, compresión axial y perpendicular a las fibras, esfuerzo cortante, tracción perpendicular a las fibras, dureza y resistencia al arranque de tornillos y clavos, las cuales fueron determinadas mediante los ensayos establecidos en las normas UNE 56-537-79, 56-535-77, 56-542-88, 56-543-88, 56-538-78, 56-534-77 y UNE-EN 320:1994 respectivamente.
- En las vigas de MLE se realizaron los siguientes ensayos de flexión de entalladuras múltiples (Foto 1), esfuerzo cortante de líneas de cola y delaminación por envejecimiento cíclico, según las Normas UNE-EN 408:1995, 392:1995 y 391:1995 respectivamente. Quedan por realizarse los ensayos de Resistencia al Fuego (Velocidad de penetración de la carbonización y ensayo de uniones).

Una vez determinadas las características macroscópicas y realizados los ensayos para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las probetas y de las vigas, en la etapa de gabinete se desarrollaron las siguientes actividades:

- Los valores de las mediciones realizadas en la etapa de laboratorio se registraron en las respectivas planillas de datos.
- Se revisaron los datos obtenidos y se hizo una depuración de los mismos para detectar algunos errores en el muestreo o en los respectivos ensayos.

- Se cuantificaron las variables y parámetros descritos de acuerdo a las fórmulas expuestas en las Normas UNE y UNE-EN.
- Con los resultados obtenidos se llevó a cabo el análisis estadístico para observar las posibles variaciones existentes entre los diferentes árboles tomados y la variabilidad de los valores obtenidos para cada propiedad determinada.
- Se estudiaron las posibles relaciones existentes entre las variables medidas.
- Con los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre las probetas de pequeñas dimensiones, se realizó la clasificación, según los valores límites, expuestos en las Normas UNE 56-540-78 y EN 386:1995, de cada propiedad estudiada y se determinaron las tensiones básicas y valores característicos, según el procedimiento expuesto por Arriaga *et al.* (1.994), por Peraza *et al.* (1.992) y por el Eurocódigo 5, Norma ENV 1995-1-1:1993.
- Se calcularon los valores característicos de las propiedades de las vigas estudiadas, según las normas EN 384:1995 y EN 1194:1999, determinando así la clase estructural a la que pertenecía cada especie, según las normas EN 338:1995 y EN 1194:1999.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para *Pinus pinea* de la zona de Hinojos (Huelva), la madera estructural se ha clasificado como (Tabla 1):

- C35, según los resultados obtenidos en la resistencia a flexión estática. Esto puede ser debido a que esta madera tiene una gran rigidez, la cual queda reflejada en el alto valor del módulo de elasticidad obtenido para las vigas de MLE (1.328 kg/mm²).

y la MLE como:

- GL28c, según los resultados obtenidos en la resistencia a la flexión de las vigas de MLE (Tabla 2).

Para *Pinus pinea* de la zona de Punta Umbría (Huelva), la madera estructural se ha clasificado como (Tabla 1):

- C18, según los resultados obtenidos en la resistencia a flexión estática.

y la MLE como:

- GL32c, según los resultados obtenidos en la resistencia a la flexión de las vigas de MLE (Tabla 2).

Hay que señalar que los valores de densidad característica obtenidos para *Pinus pinea* de ambas zonas (582,6 y 566,5 kg/m³ respectivamente) han sido elevados, lo que se refleja en unos altos valores de resistencia a la compresión perpendicular (Tabla 1). Cabe destacar que los valores obtenidos en los ensayos de esfuerzo cortante y delaminación para MLE de *Pinus pinea* de ambas zonas no cumplen los límites establecidos en la Norma EN 386:1995 (Tabla 3).

Se han encontrado bastantes regresiones para *Pinus pinea*, estudiando las relaciones existentes entre las variables determinadas.

Para *Pinus nigra* de la Sierra de Segura y *Pinus pinaster* de la Sierra de Cazorla no se pueden citar resultados puesto que ambas especies están en proceso de estudio. En lo referente a la resistencia a tracción y al fuego, para ninguna de las especies se han realizado todavía los ensayos correspondientes, puesto que se harán todas las especies al mismo tiempo. Sin embargo, en la fecha del Congreso, ya se tendrán los resultados de los ensayos que faltan, los cuales se prevén realizar antes de agosto de 2.001.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos hasta el momento no se puede tener una conclusión global del estudio, sólo cabe señalar que en vista de los resultados obtenidos, las vigas de MLE fabricadas con madera de *Pinus pinea* procedente de Huelva tienen una elevada resistencia a flexión, característica importante en el uso de este material para la construcción.

De las propiedades físicas estudiadas, lo más destacable es la alta densidad obtenida, consecuencia probablemente del alto contenido en resina observado en estas maderas.

De las relaciones encontradas entre las variables estudiadas, se puede decir que existen grandes correlaciones que permiten estimar, a partir de una variable de fácil medición, variables de mayor complejidad. En este sentido, es de suma importancia, en el momento de realizar la valoración de un bosque, incorporar variables de carácter tecnológico relativamente fáciles de caracterizar tales como las densidades y las contracciones para establecer una asignación de usos, en principio, orientativa. Una vez priorizadas las especies de interés para la industria forestal se pueden desarrollar estudios tecnológicos más específicos y con mayor rigurosidad estadística, tales como propiedades mecánicas, trabajabilidad, impregnación, preservación y uniones estructurales.

AGRADECIMIENTOS

Merecen agradecimientos todas aquellas personas que de algún modo han o están colaborando con este Proyecto de Investigación. Entre ellas destacar el apoyo mostrado por las personas que trabajan en los Aserraderos de MADERAS DOÑANA, de PEDRO ARROYO y de BAILÉN. Así mismo hay que agradecer la colaboración del personal del Laboratorio de Control de Calidad de Sevilla y de la Fábrica INGENIUM 21 de La Puebla de Cazalla (Sevilla).

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, H; (1.990). *Secado de la Madera*. Centro Técnico de la Madera del País Vasco, S.A. País Vasco. pp 30.
- ARRIAGA, F; GONZÁLEZ, A; MEDINA, G; ORTIZ, J; PERAZA, F; PERAZA, JE; TOUZA, M; (1.994). *Tensiones básicas*. Guía de la Madera para la Construcción, el Diseño y la Decoración. Publicación monográfica de AITIM. Madrid.
- EUROCÓDIGO 5: PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE MADERA; (1.995). Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación. Anexo A de la norma ENV 1.995-1-1:1.993.
- NORMAS UNE: 56-529-77; 56-530-77; 56-531-77; 56-532-77; 56-533-77; 56-534-77; 56-535-77; 56-528-78; 56-538-78; 56-540-78; 56-537-79; 56-542-88; 56-543-88.
- NORMAS UNE-EN: 302:1994; 320:1994; 390:1994; 338:1995; 386:1995; 391:1995; 392:1995; 408:1995; 384:1996; 1194:1999.
- PERAZA, C; ALARES, JM; GUINDEO, A; LAÍN, LC; (1.992). *Estructuras varias. UD 3 Ib, Estructuras de madera*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Fundación Escuela de la Edificación. Madrid. pp 360.

Tabla 1: Valores característicos de madera estructural de *Pinus pinea* de Huelva.

Propiedad	Unidad	Valor característico	
		Hinojos	Punta Umbría
Flexión estática	N/mm ²	35,42	21,39
Compresión paralela	N/mm ²	20,68	16,84
Compresión perpendicular	N/mm ²	13,49 ⁽¹⁾	10,51 ⁽¹⁾
Esfuerzo cortante	N/mm ²	1,57	2,39
Densidad	kg/m ³	582,60 ⁽¹⁾	566,55 ⁽¹⁾

(1) Valores más altos que los dados en la Tabla 1 de la Norma UNE-EN 338. Esto es debido al elevado contenido de resina encontrado en la madera.

Tabla 2: Valores medios y característicos de las vigas de MLE de *Pinus pinea* de Huelva.

Propiedad	Unidad	Valor	
		Hinojos	Punta Umbría
Flexión	N/mm ²	Característico: 29,87	Característico: 33,66
Módulo de elasticidad	N/mm ²	Medio: 13.270	Medio: 10.178,4
Módulo de cortante	N/mm ²	Medio: 337,9	Medio: 331,9

Tabla 3: Valores de obtenidos para las vigas de MLE de *Pinus pinea* de Huelva para los ensayos de esfuerzo cortante y delaminación.

Ensayo	Medida	Valor	
		Hinojos	Punta Umbría
Esfuerzo cortante en las líneas de adhesivo	f_v (N/mm ²)	7,44	6,31
	Rotura por Madera (%)	50	57
	Rotura mínima por madera (%)	77	87
	Observaciones	No cumple Norma EN386	
Delaminación de las líneas de adhesivo	Delaminación total (%)	36,14	18,52
	Delaminación máxima (%)	43,68	41,73
	Observaciones	No cumple Norma EN386	



Foto1: Realización del ensayo de Resistencia a flexión, en el Laboratorio de Control de Calidad de Sevilla.