

EFFECTO DE LA PROCEDENCIA DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE *Pinus pinaster* Ait. EN LA CLASIFICACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ULTRASONIDOS

1.- L. ACUÑA ; 2.- F. RENEDO; 3.- M. CASADO; 4.- T. LÁZARO

1.- Dpto. de Ing. Agrícola y Forestal, E.T.S. de Ingenierías Agrarias, Palencia. Universidad de Valladolid. Avda de Madrid 57, 34040. maderas@iaf.uva.es

2.- Escuela Formación Agraria de Segovia. (**) ferefe@ya.com

3.- Dpto. de Ing. Agrícola y Forestal, E.T.S. de Ingenierías Agrarias. milac@iaf.uva.es

4.- Dpto. de Ing. Agrícola y Forestal, E.T.S. de Ingenierías Agrarias mlazaro@tragsa.es

Resumen

Hoy en día la posibilidad de clasificar de forma correcta una determinada muestra de madera estructural, utilizando como criterio su resistencia, supone aumentar el valor de mercado del material. En la actualidad los sistemas de clasificación no existen, y cuando existen, no son adecuados ni eficaces, a la par que imprecisos. La existencia de normas de clasificación de calidad estructural de la madera tratan de poner al servicio de la industria y de los profesionales una herramienta que sirva para paliar ese aspecto, así, son aplicables a todas las especies de madera y se aplican a todas ellas de igual forma. Sin embargo existe cierta variabilidad que obliga a clasificar la madera en varios grupos o calidades, para poder asignarles una resistencia con un nivel de confianza razonable.

Esto no sólo se manifiesta entre árboles de diferentes especies, sino también dentro de una misma especie debido a una variabilidad geográfica, entre pies de una misma población y dentro del mismo árbol. Con tal fin se ha estudiado una muestra de madera de tamaño estructural de *Pinus pinaster* Ait. formada por 176 piezas de dimensiones 2500 x 130 x 60 mm pertenecientes a la procedencia “Sierra de Bureva-Oña”, y 197 vigas de dimensiones 2800 x 140 x 70 mm correspondientes a la procedencia “Gredos” mediante la técnica de ultrasonidos, y relacionándola con la clasificación visual según norma UNE 56.544-99, observándose que existían diferencias ciertas, mediante análisis de la varianza, entre los valores obtenidos por cada uno de las clases visuales para el valor del módulo de elasticidad por ultrasonidos obtenido según la fórmula de Euler, para cada procedencia. Hecho, que pone de manifiesto la necesidad de separar lotes de madera según procedencia a la hora de clasificar la madera estructural mediante clasificación automática con ultrasonidos, incluso dentro de una misma especie.

Palabras clave: *Pinus pinaster*, Procedencia, Resistencia, Ultrasonidos.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la madera según los postulados descritos en las normas citadas por el Comité CEN TC 124 se hace necesaria como fuente de estrategia competitiva dentro del mercado. Entendiendo como tal la determinación de una serie de propiedades del material relacionadas con su comportamiento estructural, entre las más importantes, definidas en la norma EN 338, y necesarias para la asignación de las clases resistentes, se encuentran: la resistencia a la flexión, el módulo de

elasticidad longitudinal a flexión y la densidad. Las normas EN 384 y EN 408, son las que establecen las metodologías a seguir para caracterizar mecánicamente una madera. El objetivo último de esta caracterización consiste en conocer las clases resistentes a las que se pueden asignar las calidades de cada especie, en este caso *Pinus pinaster* Ait..

Existe cierta variabilidad que obliga a clasificar la madera en varios grupos o calidades, para poder asignarles una resistencia con un nivel de seguridad aceptable, manifestándose esta realidad no sólo dentro de los lotes de madera de distintas especies, sino como variabilidad dentro de cada una de las regiones de procedencia de una misma especie e incluso llegando a niveles inferiores como poblaciones.

Los trabajos realizados que se incluyen en esta comunicación se encuadran dentro del proyecto AGL2002-03386 subvencionado por el MCYT.

MATERIAL Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta lo anterior se ha estudiado una muestra de madera de tamaño estructural de *Pinus pinaster* Ait. formada por 176 piezas de dimensiones 2500 x 130 x 60 mm pertenecientes a la procedencia “Sierra de Bureva-Oña”, y 197 vigas de dimensiones 2800 x 140 x 70 mm correspondientes a la procedencia “Gredos”. No se pudo intervenir en la selección de las piezas que dieron lugar a la muestra, realizándose el muestreo en los aserraderos, tanto de la zona de Oña como de Gredos. A pesar de ello se sigue manteniendo el criterio de representatividad, no procediendo toda la madera de la misma zona al haber sido aserrada por lotes diferentes y realizándose la recogida de muestra a distintos intervalos de tiempo.

Las escuadrías de madera así obtenidas en verde se sobredimensionaron, para que tras el secado, y mediante una sierra combinada de corte, se obtuvieran las medidas deseadas, operación realizada en el laboratorio de Maderas de la E.T.S.II.AA. de Palencia. A continuación todas las piezas se numeraron correlativamente y se apilaron hasta alcanzar una humedad de equilibrio higroscópico de aproximadamente un 12% y alcanzando al final del proceso las dimensiones exigidas por la normativa a la hora de realizar los ensayos de flexión.

A la hora de realizar los ensayos la metodología seguida fue la siguiente:

- Medida de las dimensiones exactas de las vigas; determinando la altura de cara, el espesor y la longitud, todo ello con cinta métrica de precisión 0,5 mm.
- Clasificación visual según la norma UNE 56.544; obteniéndose las clases ME1, ME2 y Rechazo.
- Medida, mediante aparato de ultrasonidos Sylvatest®, del tiempo de paso de la onda en μ s, obteniéndose posteriormente la velocidad de paso.
- Ensayo para la determinación de los Módulos de Elasticidad a flexión normal, de canto y Rotura (según norma EN 408).
- Determinación del peso específico; para lo cual se obtienen probetas pequeñas de la zona mas próxima a la rotura, realizándose posteriormente la medida de la densidad mediante el principio de Arquímedes.
- Ensayo para la determinación de la humedad, utilizando una balanza de precisión y una estufa, analizando dicho factor en la probeta que se utiliza para el ensayo del peso específico.

El ensayo no destructivo que analiza la madera mediante el método de ultrasonidos se realiza con el aparato Sylvatest®, consistente en un par de sondas que actúan una como emisor y otra como receptor, acopladas a una estación que recoge el tiempo (en μ s) de propagación de la onda, emitida a 50 KHz, al atravesar la madera. Con el fin de conseguir un contacto íntimo con la madera, las sondas tienen una forma cónica y se practica un orificio de 5 mm de diámetro y 1 cm de profundidad en las testas donde se introducen los extremos de los palpadores.

La medida se tomó en el sentido longitudinal de la pieza, situando las sondas en ambas testas, evitando aquellos casos en los que coincidiera con la médula. Conociendo la longitud de la viga se obtiene la velocidad de la onda (m/s), que será mayor cuantos menos defectos tenga la pieza. En función de esta información y conocidas la densidad de la especie, la longitud de la pieza y su geometría (sección cuadrada o redonda) se puede determinar la velocidad de paso de la onda y el Módulo de Elasticidad del material (MOE Ultrasonidos) asociado, según la fórmula de Euler

$$Velo\ ultrasonidos = \sqrt{\frac{Moe\ dinámico}{densidad}} * 1000000$$

Se tomaron 3 medidas diferentes, dos en cruz y otra paralela a las aristas de la pieza en su zona central.

La evaluación no destructiva mediante ultrasonidos consistía en medir la velocidad de propagación de la onda a través de la madera. La relación de este parámetro con el Módulo de Elasticidad permite estimar las características mecánicas del material; habiéndose corregido convenientemente los valores de la velocidad del sylvatest® en función de la humedad de cada una de ellas.

Según la normativa EN 14081 para clasificar madera estructural por métodos automáticos se necesitan al menos 900 probetas, si la máquina no ha sido testada, y 400 si la máquina ya ha sido testada. El aparato de ultrasonidos ya ha sido testado, pero aún así, el número de probetas de ensayo no supera los 400, luego los resultados deben de tomarse con precaución. Una vez que se tienen los valores de velocidad corregida al 12% y los valores del peso específico corregido al 12% (DENS12), Módulo de Elasticidad Global de canto corregido al 12% de humedad (MOEG12) y el Módulo de Rotura corregido por la altura del canto y la humedad (MORC), se estudia las relaciones existentes entre la velocidad y las propiedades mecánicas. Demostrada la relación entre éstas variables se pasaría a determinar los valores de paso de la velocidad del sylvatest® No obstante estos resultados no se incluyen en esta comunicación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta la clasificación visual de las muestras ensayadas, quedando patente que clasificar la madera de una forma sencilla y no destructiva es uno de los justificantes para la realización de este estudio, además de comprobar la tremenda inexactitud de la norma de clasificación visual, que para obtener un mejor rendimiento debiera particularizarse a cada especie o al menos a grupos muy cercanos de especies. A la vista de los resultados de la tabla 1 se puede concluir que el porcentaje de madera clasificada como estructural para el total de la especie (ME1+ME2) supone un 33,5%, para la procedencia Oña, y 19.9% para la procedencia Gredos, valores suficientemente significativos y representativos de la pérdida de valor que supone la falta de calidad.

Si se observan cuáles son los porcentajes reales de vigas dentro de las partidas que cumplen las exigencias de las clases resistentes ME1 ME2 y rechazos, tabla 1, se puede concluir que la clasificación visual agrupa de forma extremadamente grosera las partidas de madera.

En la tabla 2 se puede observar que existen ciertas diferencias entre los valores obtenidos por cada uno de las clases visuales para el valor del módulo de elasticidad por ultrasonidos, obtenido según la fórmula de Euler para cada procedencia. Ante el hecho anterior se ha realizado un análisis de la varianza de los datos de los módulos por clases y en total para determinar si existen diferencias entre los datos de las dos procedencias.

Comparando el módulo de elasticidad por ultrasonidos para la clase ME1 obtenida de la clasificación visual

entre las procedencias Oña y Gredos, figura 1 y en la tabla 3, el análisis no demuestra que existan diferencias significativas entre las muestras de madera pertenecientes a esta clase, pudiendo ser debido, principalmente, al escaso número de muestras.

Analizando la clase ME2 de las dos procedencias, tabla 4 y figura 2, se puede comprobar que de los resultados del análisis de la varianza en relación a los valores del módulo de elasticidad por ultrasonidos (MOE Ultrasonidos) según fórmula de Euler con un nivel de confianza del 95%, se observan diferencias significativas entre las dos procedencias, indicando de esta forma la necesidad de realizar estudios diferenciados por procedencias de los valores de paso que tendrán que obtenerse para clasificar la madera con un mayor nivel de confianza.

Por último evaluando el análisis que compara el módulo de elasticidad por ultrasonidos para el total de los datos de cada procedencia sin tener en cuenta la clasificación visual, como se refleja en la tabla 5 y la figura 3, se determina con un nivel de confianza del 95% que en el análisis de la varianza se observan diferencias significativas entre dichas procedencias. Otra justificación más para analizar separadamente los estudios para determinar los valores de la propiedad indicadora de la máquina de ultrasonidos en procedencias diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA RELLO, L., RENEDO FERREIRO, F., CASADO SANZ, M., (2002). Efecto de las singularidades de la madera estructural de *Pinus pinaster* Ait. en su resistencia mecánica. *II Congreso de la madera. Segovia.*
- ECE, (1982). *Recommended standards for stress grading and finger-jointing of structural coniferous sawn timber.* Timber Bulletin for Europe. Volume XXXIV. Supplement 16. United Nations Commission for Europe. Geneva.
- EN 518, (1995). *Structural timber. Grading. Requirements for usual strength grading.*
- EN 336, (1998). *Structural timber. Softwoods and poplar sizes. Permitted deviations.*
- EN 338, (1999). *Madera estructural. Clases resistentes.*
- EN 384, (1999). *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.*
- EN 1912, (1999). *Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidades visuales.*
- EN 408, (2000). *Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.*
- EN 14081, (2000). *Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 2: Machine Grading-Additional requirements for initial type testing. Part 3: Machine Grading-Additional requirements for factory production control.*
- FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I., DÍEZ BARRA, M.R.; HERMOSO PRIETO, E. (1998). *Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural, clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544. Materiales de construcción.* Revista de Investigación Agraria. Vol. 48. nº252: 45-59.
- FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DÍEZ BARRA, M.R.; HERMOSO PRIETO, E. (2001). *Análisis y estado del arte de la técnica de clasificación mecánica por máquina de la madera aserrada estructural (revisión).* Revista de Investigación Agraria: Serie sistemas y recursos forestales vol. 10 (1): 5-21.
- HERMOSO PRIETO, E. (2002). *Caracterización mecánica de la madera estructural de Pinus sylvestris.* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros de Montes.
- HERMOSO, E.; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I.; DÍEZ, M.R. (2003) *Evaluación de la clasificación resistente de la madera estructural mediante ultrasonidos. 10º Congreso Nacional de ensayos no destructivos,* Cartagena, 18-20 de junio de 2003
- RODRÍGUEZ CIÑAN, C. Y RUBIO DE HITTA, P., (2000). *Evaluación del estado de la madera, en obras de rehabilitación, mediante técnicas de ultrasonidos.* E.T.S. de Arquitectura. Universidad de Sevilla.
- UNE EN 56544, (1999). *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.* AENOR. Madrid.

Tabla 1.- Clasificación visual de la muestra ensayada según norma UNE 56544.-99

	ME1	ME2	RECHAZO	TOTAL
Procedencia Oña				
Nº de probetas, Clasificación visual	6	53	117	176
Porcentaje respecto a la partida	3,4%	30,1%	66,5%	100%
Nº probetas, Clasificación REAL	123	40	13	176
% de vigas en la clasificación REAL	70%	23%	7%	100%
ACIERTOS de la clasificación visual	3,7 %	47,6 %	85,0 %	
SUBESTIMAS de la clasificación visual	96,3 %	42,9 %	0,0 %	
SOBREESTIMAS de la clasificación visual	0,0 %	9,5 %	15,0 %	
Procedencia Gredos				
Nº de probetas, Clasificación visual	7	32	157	196
Porcentaje respecto a la partida	3.6%	16.3%	80.1%	100%
Nº probetas, Clasificación REAL	149	33	14	196
% de vigas en la clasificación REAL	76%	16.9%	7.1%	100%
ACIERTOS de la clasificación visual	9,3 %	18,6 %	83,3 %	
SUBESTIMAS de la clasificación visual	90,7 %	78,0 %	0,0 %	
SOBREESTIMAS de la clasificación visual	0,0 %	3,4 %	16,7 %	

Tabla 2.- Descripción del módulo de elasticidad por ultrasonidos al 12% de humedad

MOE Ultrasonidos (N/mm ²)	ME1	ME2	RECHAZO	TOTAL
Procedencia Oña				
“Valor característico”	11100,3	9628,7	9628,7	8004,0
Media	12791,1	12135,6	10504,3	11125,6
Nº de probetas	6	53	117	176
Procedencia Gredos				
“Valor característico”	9707,8	6836,3	6386,9	6398,8
Media	14275,6	10642,2	10283,7	10547,5
Nº de probetas	7	32	157	196

Tabla 3.- Análisis de la varianza y test de rango múltiple para ME1

Origen	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-Ratio	P-valor	
<i>entre grupos</i>	1,09462E7	1	1,09462E7	1,48	0,2485	
<i>dentro de grupos</i>	8,10882E7	11	7,37165E6			
Total (Corr.)	9,20343E7	12				
Test de rango múltiple. Método: 95,0 percentil LSD						
Procedencia	Datos	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Limites
Oña	6	12844,9	X	Gredos-Oña	1840,68	3324,66
Gredos	7	14685,6	X			

Tabla 4.- Análisis de la varianza y test de rango múltiple para ME2

Origen	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-Ratio	P-valor
<i>entre grupos</i>	3,72189E7	1	3,72189E7	7,78	0,0066
<i>dentro de grupos</i>	3,97285E8	83	4,78657E6		
Total (Corr.)	4,34504E8	84			

Test de rango múltiple. Método: 95,0 percentil LSD						
Procedencia	Datos	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Limites
Oña	32	10936,6	X	Gredos-Oña	*- 1365,7	974,171
Gredos	53	12302,4	X			

* denota una diferencia estadísticamente significativa

Tabla 5.- Análisis de la varianza y test de rango múltiple para el total muestral

Origen	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-Ratio	P-valor
<i>entre grupos</i>	3,09845E7	1	3,09845E7	4,90	0,0275
<i>dentro de grupos</i>	2,33922E9	370	6,32221E6		
Total (Corr.)	2,3702E9	371			

Test de rango múltiple. Método: 95,0 percentil LSD						
Procedencia	Datos	Media	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Limites
Oña	196	10547,5	X	Gredos-Oña	*- 578,042	513,444
Gredos	176	11125,6	X			

* denota una diferencia estadísticamente significativa

Figura 1.- Valor medio y residuales del MOE Ultrasonidos de la clase ME1 para Oña y Gredos

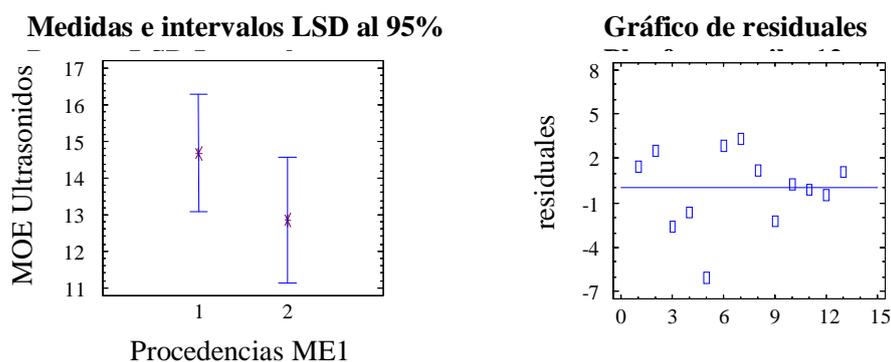


Figura 2.- Comparación del módulo de elasticidad por ultrasonidos para la clase ME2 entre las procedencias Oña y Gredos

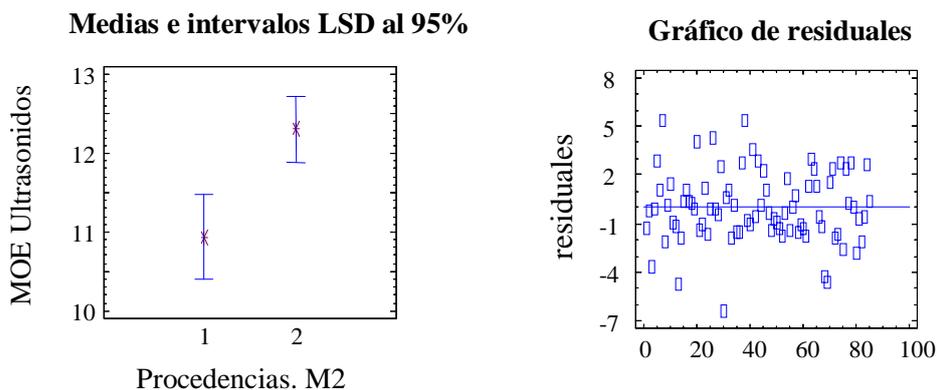


Figura 3 Comparación del módulo de elasticidad por ultrasonidos para el total de los datos entre las procedencias Oña y Gredos:

