

## “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE NORMAS DE ENSAYO PARA MADERA DE *Pinus sylvestris* L. EN USO RESISTENTE”

1.- L. ACUÑA ; 2.- A. LLORENTE; 3.- M. CASADO

1.- Dpto. de Ing. Agrícola y Forestal, E.T.S. de Ingenierías Agrarias, Palencia. Universidad de Valladolid. Avda d Madrid 57. 34040 Palencia [maderas@iaf.uva.es](mailto:maderas@iaf.uva.es)

2.- BMC MADERAS S.A. Plgno San Cristóbal – C/Aluminio, 5; 47012 – Valladolid  
[allorete@eresmas.com](mailto:allorete@eresmas.com)

3.- Dpto. de Ing. Agrícola y Forestal, E.T.S. de Ingenierías Agrarias. [milac@iaf.uva.es](mailto:milac@iaf.uva.es)

### Resumen

En este trabajo se comparan los valores de resistencia obtenidos en el “ensayo a flexión estática para madera de uso estructural” según la norma UNE EN 408 y los valores del “ensayo a flexión estática de probetas libres de defectos” provenientes de esas mismas vigas, según la norma UNE 56 537 para una partida de madera de *Pinus sylvestris* L. procedente del pinar de Navafría en Segovia. Para ello se han ensayado un total de 89 vigas de tamaño estructural, obteniéndose posteriormente de cada una de ellas probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos para su ensayo a flexión. La escasa relación existente entre los valores de MOE y de resistencia a flexión obtenidos en ambos ensayos, demuestra la elevada influencia que ejerce la presencia de defectos en las vigas de tamaño estructural sobre sus propiedades físico-mecánicas, siendo los nudos la particularidad anatómica con mayor influencia sobre la resistencia a flexión de la madera. Resulta pues complicado establecer un sistema de predicción del valor de la resistencia real de la madera en base a los resultados que se obtengan los ensayos de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos.

### Palabras clave

Madera, *Pinus sylvestris*, Módulo de elasticidad, Resistencia, Flexión, Nudos

### INTRODUCCIÓN:

Las maderas aserradas españolas destinadas al mercado estructural tienen su calidad y propiedades perfectamente reguladas en el ámbito nacional por lo establecido en la norma UNE 56.544:2003 y en el ámbito europeo por lo considerado en la norma EN 1912:2003.

La norma española UNE 56.544:2003 es la que regula todo lo referente a las calidades y propiedades de las maderas españolas destinadas al trabajo estructural. De momento en ella sólo se contemplan las prescripciones y características de las maderas de nuestros cuatro pinos más importantes: *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.

Con el fin de mejorar la precisión de la clasificación, evitando los inconvenientes de la clasificación visual (subjetividad, imprecisión), se desarrollaron diversos procesos de clasificación mecánica. Hasta los años 70, este procedimiento se basaba en el ensayo de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos (la norma española que determina las características de los “ensayos a flexión estática de probetas libres de defectos” es la norma UNE 56.537-79). Sin embargo, este procedimiento era cuestionado como sistema válido para predecir el comportamiento de la madera de tamaño estructural.

La tendencia actual es la de ensayar piezas con tamaños y calidades comerciales, basada en la determinación de las propiedades mecánicas en las condiciones más parecidas al destino final de la madera (la norma española que determina las características de los “ensayos a flexión estática para madera de uso estructural”, es la norma UNE EN 408).

## OBJETIVOS

Se pretende caracterizar las propiedades resistentes de las vigas de pino silvestre, a partir del ensayo a flexión estática de probetas libres de defectos (según lo establecido por la norma UNE 56.537-79), caracterizar las propiedades físicas de densidad, (según lo establecido en la norma UNE 56.531-77) y de contracciones lineales y volumétricas (según lo establecido en la norma UNE 56.533) para la madera de pino silvestre.

Con el fin de poder estudiar la influencia que ejerce la presencia de defectos en las vigas de tamaño estructural sobre sus propiedades físico-mecánicas resulta de interés el establecer el grado de correspondencia existente entre los valores de resistencia obtenidos en el “ensayo a flexión estática para madera de uso estructural” según la norma UNE EN 408 y los valores del “ensayo a flexión estática de probetas libres de defectos” provenientes de esas mismas vigas, según la norma UNE 56.537-79.

Igualmente, es de interés estudiar la correspondencia existente entre los resultados obtenidos de la clasificación visual de las vigas de tamaño estructural según la norma UNE 56.544:2003 “Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural”, y los obtenidos del ensayo sobre probetas obtenidas de esas mismas vigas en base a la norma UNE 56.537-79 “ensayo a flexión de probetas libres de defectos”

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se ha utilizado una partida de madera comercial de *Pinus sylvestris* L. (pino silvestre), de dimensiones estructurales, procedente del pinar de Navafría en Segovia. Cada pieza fue clasificada visualmente según la norma española UNE 56.544. Los resultados de la clasificación visual de la partida se han recogido en la tabla 1.

Tras realizar la clasificación visual de las vigas, fueron ensayadas a flexión en una máquina de ensayos universal, según la norma EN 408, para obtener el Módulo de elasticidad global estático de cada una de ellas y, posteriormente, se llevaron hasta la rotura, obteniéndose el Módulo de rotura. De los resultados de este ensayo se deduce que la aplicación de la norma UNE 56.544:2003 no resulta excesivamente precisa para hacer una clasificación resistente de madera estructural, ya que desestima muchas piezas con unas características resistentes superiores a lo que se define en la norma UNE EN 338, con la consiguiente pérdida de rendimiento clasificatorio y de pérdida de valor en el mercado..

La resistencia a la flexión estática de las probetas libres de defectos se determina de acuerdo a la metodología establecida en la norma UNE 56.537-79. Para ello, a partir de las vigas de tamaño estructural ensayadas a flexión, figura 1, se han obtenido, con ayuda de una sierra de banda y de una sierra combinada, las probetas libres de defectos, con forma de prisma cuadrangular de 300x20x20 mm.

El ensayo de las probetas libres de defectos se realiza con la máquina universal de ensayos, colocando para ello la probeta sobre dos apoyos cilíndricos de ejes paralelos con un radio de  $15 \pm 0,5$  mm, separados  $240 \pm 1$  mm. La carga se aplica centrada entre los apoyos, mediante otro cilindro de  $15 \pm 0,5$  mm de radio, figura 2. Una vez colocada la probeta con su cara radial hacia arriba, se inicia el ensayo a flexión, sometiendo a la probeta a una carga con velocidad constante de 5 mm/min hasta la rotura, tomando en ese momento el valor de carga de rotura con una aproximación de 0,1 kg.

Realizado el ensayo a flexión sobre las probetas libres de defectos, de los restos se han obtenido con ayuda de la máquina universal de ensayos las probetas necesarias para realizar la caracterización de las propiedades físicas de densidad, (según lo establecido en la norma UNE 56.531-77) y de contracciones lineales y volumétricas (según lo establecido en la norma UNE 56.533).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comprobación de las calidades, obtenidas de la clasificación visual de las vigas de tamaño estructural, respecto a la muestra de datos obtenidos del ensayo a flexión de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos y de los valores obtenidos de densidad a partir de dichas probetas, se ha realizado mediante la utilización de una serie de test de contraste de hipótesis.

El test con el que se ha realizado la comprobación es el “test de la t de Student”, en el que se definen una hipótesis nula y una hipótesis alternativa para la media de cada clase a partir de los valores que se especifican en la norma, siempre partiendo de la hipótesis de normalidad de la población. Los resultados del estudio determinan si se rechazan o no las diferentes hipótesis.

**- Comprobación de las calidades respecto al MOE:**

La norma UNE EN 338 establece que las clases resistentes a las que pertenece el pino silvestre son la C18 y la C27, con unos valores de módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra de 9 KN/mm<sup>2</sup> y de 11 KN/mm<sup>2</sup> respectivamente.

Con los datos anteriores se podría establecer el siguiente criterio de clasificación:

- Clase ME1:  $MOE > 11000 \text{ N/mm}^2$
- Clase ME2:  $9000 \text{ N/mm}^2 < MOE < 11000 \text{ N/mm}^2$
- Clase ME3:  $MOE < 9000 \text{ N/mm}^2$

Los resultados del test de hipótesis de MOE vs. Clase ME1 no se han admitido debido a que los 15 datos de los que se dispone provienen de una misma viga.

Los resultados del test de hipótesis MOE vs. Clase ME2, indican que el intervalo de confianza del 95% para la media de los valores del módulo de elasticidad de las vigas de la clase ME2 es  $9312,41 \pm 153,39 \text{ N/mm}^2$ . Es decir, con una probabilidad del 95% el valor del MOE para las piezas de la clase ME2 estará dentro del intervalo  $[9159,02 ; 9465,8] \text{ N/mm}^2$ . Como los datos de la población siguen una distribución normal, se puede admitir que MOE para la clase ME2 está entre 9000 y 11000 N/mm<sup>2</sup>.

Los resultados del test de hipótesis MOE vs. Clase ME3, indican que el intervalo de confianza del 95% para la media de los valores del módulo de elasticidad de las vigas de la clase ME3, es  $8916,22 \pm 168,609 \text{ N/mm}^2$ . Como los datos de la población siguen una distribución normal, se puede decir que con una probabilidad del 95% el valor del MOE para las piezas de la clase 2 estará dentro del intervalo  $[8747,61 ; 9084,82] \text{ N/mm}^2$ .

El hecho de que con un 95% de probabilidad la media del módulo de elasticidad paralelo a la fibra, obtenido del ensayo de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos, no sea inferior a los 9000 N/mm<sup>2</sup> que recoge la norma UNE EN 338 para la clase visual ME3 de madera de tamaño estructural es comprensible debido a que en el ensayo de probetas de pequeñas dimensiones se están eliminando los defectos que condicionan la clasificación visual de la madera de tamaño estructural, figura 3.

**- Comprobación de las calidades respecto a la resistencia a flexión:**

El test de la t que compara la media de las dos poblaciones de datos de resistencia a flexión calculados a partir del ensayo a flexión de vigas de tamaño estructural y los datos de resistencia a flexión obtenidos del ensayo de probetas libres de defectos, rechaza la hipótesis de que las dos medias sean iguales, frente a la hipótesis de que la media de los datos de resistencia a flexión obtenidos del ensayo a flexión de probetas libres de defectos es superior a la media de los datos de resistencia a flexión obtenidos del ensayo de las vigas con tamaño estructural, figura 4.

Como se puede observar, los valores de resistencia a flexión obtenidos en el ensayo de probetas libres de defectos son sensiblemente superiores a los obtenidos en el ensayo de vigas de tamaño estructural, superándose ampliamente los valores de resistencia característicos que establece la norma EN 338 para las clases C27 y C18, renunciándose a realizar el “test de la t” respecto a la clases visuales establecidas.

Representando en un diagrama de cajas los valores de resistencia a flexión obtenidos del ensayo de probetas libres de defectos para las clases ME1, ME2, y ME3, se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa de los valores de resistencia a flexión de la clase ME3 (Rechazo) respecto a los de la clase ME2, con un grado de confianza del 95%. Sin embargo, si se acude a los datos de las medias de las dos poblaciones de datos, se observa que para la clase ME2 ésta es de  $92,0716 \text{ N/mm}^2$ , mientras que para la clase ME3 (Rechazo) ésta es algo inferior con un valor de  $89,6572 \text{ N/mm}^2$ , apreciándose únicamente una ligera diferencia entre ambas, figura 5.

Se podría concluir pues, que la menor resistencia a flexión de las probetas procedentes de vigas de tamaño estructural con defectos, se puede deber a la influencia que los defectos, en particular los nudos, tienen sobre la resistencia a flexión del material, así como el efecto tamaño, bien conocido.

Entorno a los nudos la fibra presenta unas características anatómicas y morfológicas distintas a las habituales en la madera libre de defectos, que influye en las propiedades tanto mecánicas como físicas, presentando habitualmente estas zonas una menor resistencia a flexión. Esto justificaría el hecho de que se obtengan valores de resistencia a flexión inferiores en las probetas libres de defectos elaboradas con las vigas de clase “rechazo” frente a las vigas clasificadas en la clase ME2.

**- Comprobación de las densidades respecto a la calidad:**

La norma UNE EN 338 establece que las clases resistentes a las que pertenece el pino silvestre son la C18 y la C27, con unos valores de densidad medios de 380 y 420 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Los valores de densidad obtenidos del ensayo de las probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos son mayores a los que establece la norma para dicha clasificación visual. Como, además, los valores de la densidad para el total de la muestra de probetas de pequeña dimensión se aleja de la distribución normal, no se ha acudido al “test de la t” para comprobar las densidades respecto a la clasificación visual realizada, sino que se ha establecido un diagrama de cajas para las clases ME1, ME2, y ME3, donde puede observarse que los valores de densidad para las tres clases es superior al que establece la norma, figura 6.

Se aprecia también la falta de relación existente entre las densidades calculadas tras el ensayo de las probetas de pequeñas dimensiones y la clasificación visual de las vigas de tamaño estructural. Un aspecto bastante importante que se extrae del diagrama de cajas para la densidad, que es el hecho de que la media de los valores de densidad obtenidos para la clase ME3 son superiores a los obtenidos para la clase ME2. Esto podría estar motivado por la presencia de un elevado número de nudos en las vigas de rechazo, que hacen que la fibra entorno a ellos presente unas características anatómicas y morfológicas distintas a las habituales en madera libre de defectos, que influye en las características tanto mecánicas como físicas, presentándose habitualmente una mayor densidad en estas zonas.

**- Análisis de la relación existente entre los datos obtenidos del “Ensayo a flexión de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos según la norma UNE 56.537.79” y los obtenidos del “Ensayo a ensayo flexión estática de madera de uso estructural según la norma UNE EN 408”:**

Con carácter previo a la realización del análisis de la regresión simple, se han eliminado de la misma todas las probetas con la dirección tangencial y radial no definidas, obteniéndose el siguiente resultado “  $MOE_{ve} = 3908.37 + 0.60379 * MOE_{pp}$  ”.

El p-valor del análisis de la varianza es inferior a 0,01, por ello se comprueba que la relación entre las variables es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99 %; el estadístico  $r^2$  indica que el modelo ajustado explica tan solo el 15,1517% de la variabilidad en el MOE, figura 7.

Procediendo de igual manera para la resistencia a flexión, realizando una regresión simple entre los datos por los dos métodos de ensayo (excluyendo las mismas probetas que anteriormente), se obtiene la relación “  $f_{ve} = 29,8888 + 0.196779 * f_{pp}$  ”. El p-valor del análisis de la varianza es inferior a 0,01, con lo que sí que hay una relación estadística significativa entre la resistencia a flexión calculada a partir del ensayo a flexión de vigas de tamaño estructural ( $f_{ve}$ ) y la resistencia a flexión obtenida del ensayo a flexión de probetas libres de defectos ( $f_{pp}$ ) con un nivel de confianza del 99%; sin embargo, el coeficiente de correlación es igual a 0,22392, es decir, es todavía inferior al hallado para el total de las probetas, lo que indica una relación muy débil entre ambas series de valores figura 7.

## CONCLUSIONES

Los valores de resistencia a flexión obtenidos del ensayo de probetas libres de defectos según la norma UNE 56.537-79 son sensiblemente superiores a los valores reales de resistencia a flexión obtenidos mediante el ensayo a flexión de madera estructural según la norma UNE EN 408. Por lo tanto, no se trata de un método de ensayo fiable para la caracterización mecánica de la madera utilizando los criterios de cálculo recomendados en la actualidad (Eurocódigo)

Del análisis de regresión simple entre las propiedades resistentes de probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos, y las obtenidas del ensayo de probetas de tamaño estructural, se deduce que existe un 84,84% de la variabilidad del módulo de elasticidad obtenido del ensayo de vigas de tamaño estructural no explicado por el módulo de elasticidad obtenido del ensayo de

probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos. Esa baja relación entre los valores del módulo de elasticidad estimados por ambos métodos de ensayo, obliga a considerar con cierto recelo los datos obtenidos de los ensayos de probetas libres de defectos a la hora de estimar las propiedades mecánicas de la madera (lo que corrobora el punto anteriormente expuesto). Resulta muy complicado establecer un sistema de predicción del valor de la resistencia real de la madera en base a los resultados que se obtengan del ensayo a flexión de probetas libres de defectos, debido al escaso % de variabilidad de la resistencia a flexión real de la viga que son capaces de explicar.

De los análisis realizados se deduce también que los nudos son la particularidad anatómica que más influencia tienen sobre la resistencia a flexión de la madera. Se ha comprobado que entorno a ellos la fibra presenta unas características anatómicas y morfológicas distintas a las habituales en madera libre de defectos, que influyen tanto en las propiedades mecánicas (disminuyendo la resistencia a flexión de la madera), como en las físicas (presentándose habitualmente una mayor densidad en esas zonas).

Por lo anteriormente expuesto, y como era de prever, se puede concluir que no existe una relación clara entre el resultado de la clasificación visual de una viga estructural según la norma UNE 56.544:2003, y los resultados del ensayo a flexión de probetas libres de defectos obtenidas de esa viga según la norma UNE 56.537-79, ya que se están eliminando durante el ensayo, todos aquellos factores que han condicionado la clasificación visual.

## BIBLIOGRAFIA

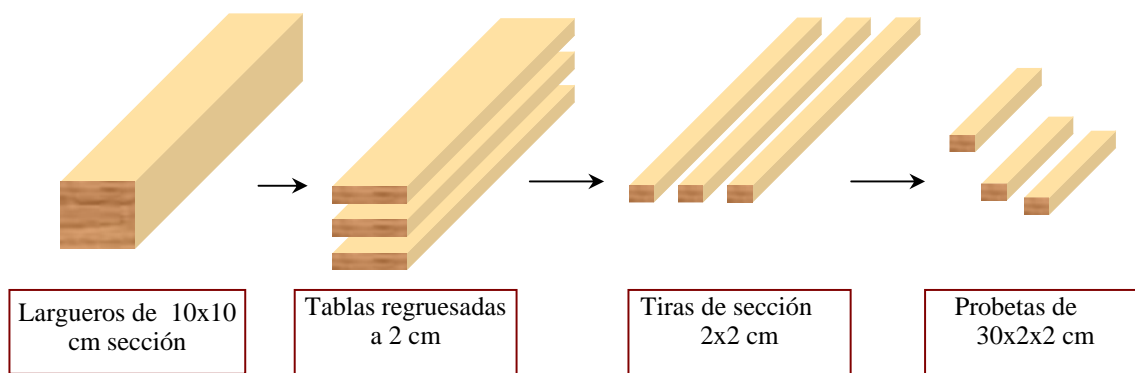
- ACUÑA L., LLORENTE A., CASADO, M Y HERRERA C: 2001. Clasificación de la madera de *Pinus sylvestris* L. Mediante ensayos no destructivos. III Congreso Forestal Español. Granada.
- ACUÑA RELLO, L. y HERRERA CALVO, C.: 1999. Influencia del azulado en las características resistentes de la madera para uso estructural". II Simposium Nacional de Protección de la madera en la construcción.
- AENOR.: 1997. Madera para construcción. Recopilación de normativa". Madrid.
- FERNÁNDEZ GOLFÍN, J.I , DIEZ, M.R. y GUTIERREZ, A.: Caracterización mecánica de la madera aserrada de pino silvestre de los sistemas Central e Ibérico mediante probetas de tamaño estructural. INFOR – INIA. Madrid.
- HERRERA CALVO, M.: 1999. Estudio de la utilización de madera de pino silvestre de baja calidad con uso estructural. E.T.S.II.AA. Palencia.
- LÁZARO SÁNCHEZ, T.: 1998. Estudio sobre la influencia del clima en la estructura anatómica del *Pinus pinaster* Ait. E.T.S.II.AA. TFC, Palencia.
- LÓPEZ DE ROMA, A. et al.: 1991. Propiedades y tecnología de la madera de pino radiata del País Vasco. INIA. Madrid.
- Norma UNE EN 338: Madera estructural. Clases resistentes.
- Norma UNE EN 384: Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad.
- Norma UNE EN 408: 1995. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- Norma UNE 56544: 2003. Clasificación visual de la madera para uso estructural.

## FIGURAS Y TABLAS

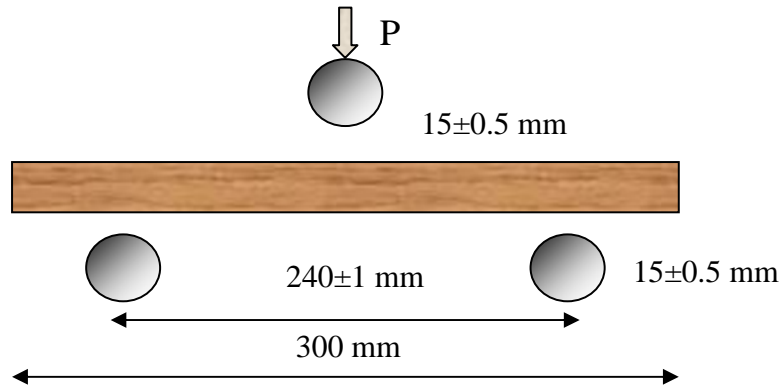
**Tabla 1: Distribución de vigas por clases visuales**

Clasificación	M1	M2	Rechazo
Clasificación visual	1	47	41
Clasificación Real	17	52	20

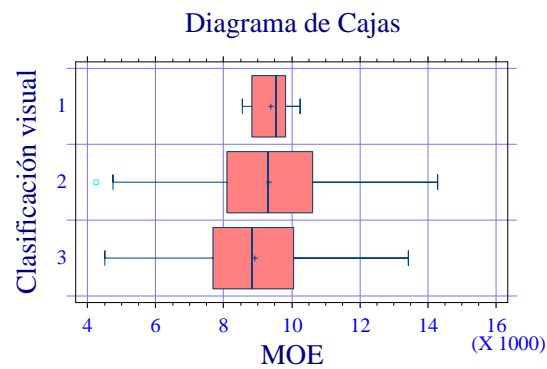
**Figura 1: Despiece para la obtención de probetas de 30x2x2 cm**



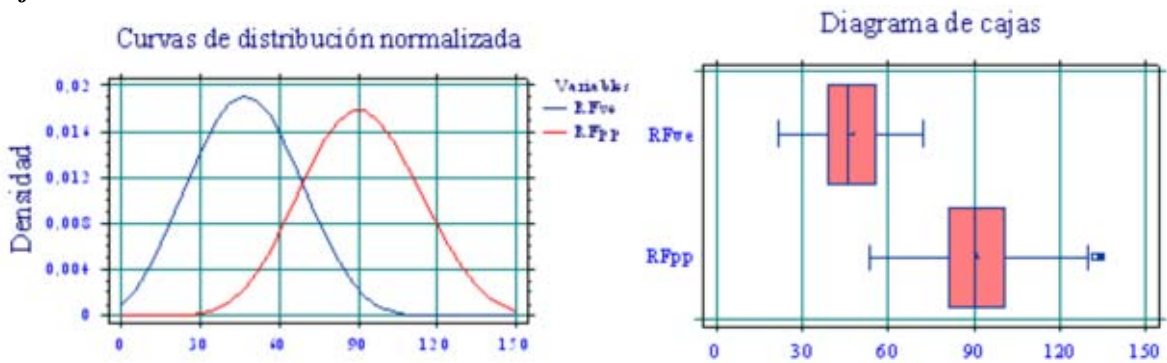
**Figura 2: Esquema del ensayo a flexión**



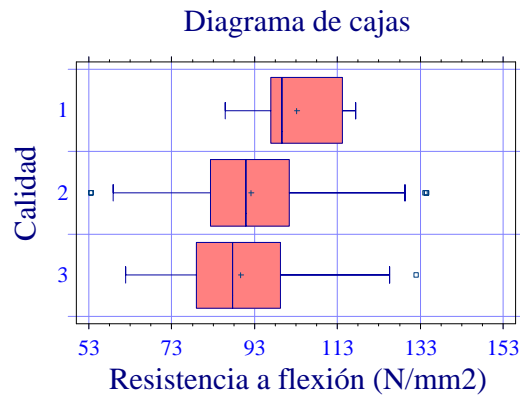
**Figura 3: Diagrama de cajas para el MOE de las clases ME1, ME2, y ME3**



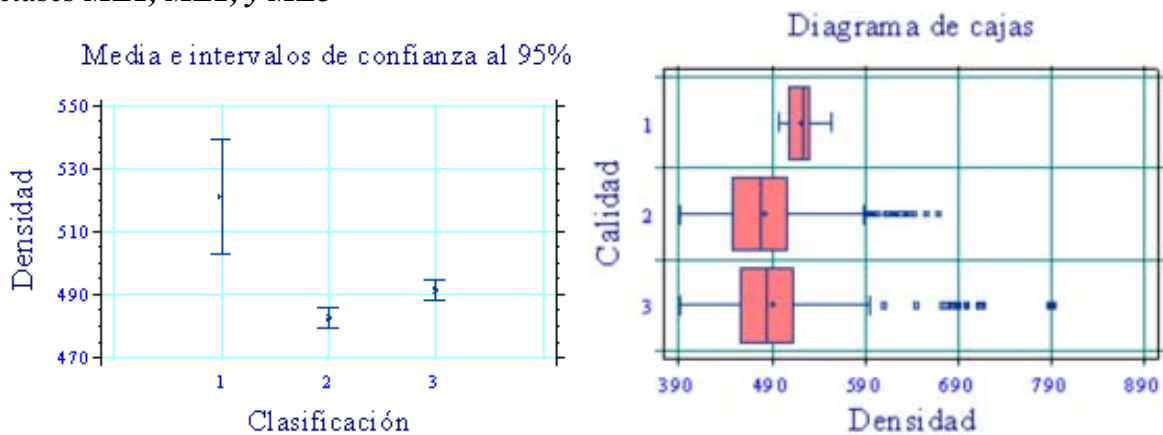
**Figura 4: Curvas de distribución normal y diagramas de cajas para los datos de resistencia a flexión ( $N/mm^2$ ) “ensayo de madera estructural - probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos”.**



**Figura 5: Diagrama de cajas para la resistencia a flexión de las clases ME1, ME2, y ME3**



**Figura 6: Diagrama de cajas para la densidad, media e intervalos de confianza al 95% de las clases ME1, ME2, y ME3**



**Figura 7: Diagrama de modelo ajustado entre el módulo de elasticidad/resistencia a flexión calculado a partir del ensayo a flexión de vigas de tamaño estructural ( $MOE_{ve}/f_{ve}$ ) y el módulo de elasticidad/resistencia a flexión obtenido del ensayo a flexión de probetas libres de defectos ( $MOE_{pp}/f_{pp}$ ) (excluyendo del análisis las probetas sin dirección radial y tangencial definida).**

