

ANÁLISIS DEL FACTOR DE ALTURA K_H EN LA MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL DE PINO SILVESTRE.

1. E. HERMOSO
2. J.I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN
3. M.R. DÍEZ

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA). Ctra. de La Coruña km. 7. 28040 Madrid.

RESUMEN

En el artículo se analiza el factor de corrección por altura (k_h) aplicado a la resistencia a la flexión (MOR) dado por la norma UNE-EN 384 para madera de *Pinus sylvestris* L. de diferentes secciones (100x40, 100x50, 150x40, 150x50, 150x70 y 200x70) y de diversas procedencias. Dicho análisis se aborda mediante el estudio de modelos de regresión no lineales, se aportan los parámetros que los definen (A, B, C) además del coeficiente de determinación (R^2).

Se efectúa un análisis de la influencia del espesor y del efecto del volumen en la resistencia, así como la necesidad de aplicar un factor corrector para estos parámetros. Se caracterizan para las clases de calidad ME1 y ME2 definidas por la norma UNE 56.544 (1999).

Se demuestra el efecto de la altura de cara y del volumen en las propiedades resistentes del pino silvestre, siendo más patente en piezas de calidad ME2. Además se comprueba que la influencia del espesor de la pieza no es significativo.

Finalmente, se hace una comparación con los resultados obtenidos para otras especies (*Pinus nigra subsp. salzmannii*) en estudios similares al presente.

PALABRAS CLAVE (P.C.)

Pinus sylvestris, L.

Factor de corrección por altura

Resistencia a flexión

SUMMARY

Analysis of correction factor for depth of *Pinus sylvestris* L. structural timber

A correction factor for depth for adjusting the bending strength of structural timber (100x40x2000, 100x50x2000, 150x40x3000, 150x50x3000, 150x70x3000, 200x70x4000) of different Spanish provenances of *Pinus sylvestris* is carried out, giving the parameters for the adjust of non linear regression corresponding to the total and to the quality classes considered in the UNE 56.544 visual grading standard.

Influence of the depth and the volume into the bending strength of timber is appreciable, and the most influence is in the quality ME2.

It's also considered the influence of the thickness concluding the no statistically significance of it.

A final comparison with the results of other studies on *Pinus nigra* is also carried out.

KEY WORDS (K.W.)

Pinus sylvestris, L.

Correction factor for depth

Bending Strength

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de redacción de la norma UNE-EN 384 (1999) "Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad", se

cuestionó la influencia que podían ejercer las dimensiones de una pieza sobre las propiedades resistentes de la madera.

Revisada la bibliografía existente se encontraron varios estudios que trataban de determinar cuál era el efecto del volumen, cara y canto sobre la resistencia y rigidez de este material.

Así, Curry & Tory (1976) analizan la relación MOR-MOE (módulo de rotura a flexión - módulo de elasticidad) según diferentes dimensiones en madera de pino silvestre, abeto y Tsuga (Canadian western hemlock) concluyendo que, tanto para madera limpia de defectos como para madera estructural, el MOR tomaba valores menores conforme aumentaban las dimensiones. Aunque encuentran algún leve efecto debido al espesor de la pieza, lo desechan por intuir que se podía tratar de la elección de las muestras o deberse a las diferencias entre calidades.

De este trabajo ya se deduce la conveniencia de estudiar los posibles efectos que puedan aportar las distintas clases de calidad por separado, de ahí que este estudio se realizase teniéndolo en cuenta.

Más adelante, Madsen (1992) realizando trabajos con madera de abeto Douglas, obtuvo que un aumento de altura de cara supone una disminución de la resistencia, pero contradice lo esperado al encontrar un efecto del espesor relacionado con el MOR, es decir, al aumentar el primero aumentaba el segundo. Además rompía con la teoría por la cual a mayor volumen la resistencia era menor.

Su explicación de los resultados se basa en que el nudo que afecta al espesor en la sección de tensión de una pieza de madera delgada, es más perjudicial que si ese mismo nudo actuase en una madera con un espesor mayor.

Böstrom (1994) trabaja con tres dimensiones diferentes de *Picea abies*, llegando a la conclusión que el efecto del aumento de la altura minora la resistencia, además de la consideración de la influencia del volumen de la pieza más de lo que estaba hasta ese momento. Sin embargo, observa que no existe efecto debido al espesor.

De nuevo Böstrom (1999), continua los estudios que ya había comenzado dirigidos a comparar diferentes métodos de determinación del módulo de elasticidad, y comprobó, también con madera de *Picea abies*, la influencia que adquiriría la anchura de la cara en estas evaluaciones, pasando a buscar regresiones que establezcan una relación que explique la variación de la propiedad resistente con la altura.

Todo esto llevó a concluir la necesidad de eliminar el efecto de la altura de la cara en la resistencia, puesto que según sea ésta, variará. Así se estableció en la norma UNE-EN 384 de (cálculos de valores característicos) un valor de altura de cara normalizado de 150 mm para los ensayos y en el caso de realizarse la determinación de la resistencia con alturas diferentes, se normalizó un factor de corrección ($k_h=(150/h)^{0,2}$) para llevar todas las piezas a este valor común.

El llegar a esta determinación supuso alcanzar una media entre muchos ensayos realizados con varias especies diferentes, por eso que se desee comprobar si el factor corrector es adecuado en concreto para la madera del pino silvestre.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó con madera de pino silvestre de las regiones de procedencia de Alava, Navarra, Sistema Ibérico, Sistema Central y Cuenca, de dimensiones 100x40x2000, 100x50x2000, 150x40x3000, 150x50x3000, 150x70x3000 y 200x70x4000, ensayándose un total de 1811 vigas. La selección de las piezas se realizó en parte eligiendo árboles aleatorios en pie señalados para corta y en parte de piezas de serrería, de los cuales se utilizaron trozas para obtener ensayos físico-mecánicos con probetas de pequeñas dimensiones (Gutiérrez A. *et al.* (1996))

Tras la preparación para ensayo de las piezas aserradas, pasadas por secadero, cepilladas a dimensiones finales y determinadas las calidades visuales según UNE 56.544, se procedió a efectuar los ensayos de obtención de las características mecánicas para esta especie (Fernández-Golfín J.I. *et al.* (1997)), finalizando con la determinación del módulo de rotura al llevar a la pieza hasta el fin de su resistencia, según la norma europea EN 408.

Sobre las secciones de rotura se clasificó de nuevo la calidad visual y de las probetas rotas se extrajeron piezas para la determinación de la densidad y anchura media de los anillos.

En la obtención de los valores característicos y medios de las poblaciones se utilizó la norma

EN 384.

Con los datos de MOE, MOR, y los valores de cara y canto obtenidos de cada pieza, se procedió al análisis estadístico.

El estudio del valor estimado por la norma EN 384 aplicado para la madera de pino silvestre se aborda mediante el estudio de modelos de regresión no lineales. Se comenzó por un modelo que tiene en cuenta el efecto del espesor de la pieza, del tipo:

$$MOR = A * \left(\frac{50}{Espesor} \right)^B * MOE$$

Como se apuntó en apartados anteriores el efecto de la anchura de la cara está asignado en la normativa, pero en este estudio se utilizó el siguiente modelo para pino silvestre:

$$MOR = A * \left(\frac{150}{Cara} \right)^C * MOE$$

Para los resultados referidos a la influencia del volumen de la pieza en su resistencia, la regresión utilizada fue:

$$MOR = A * \left(\frac{50}{Espesor} \right)^B * \left(\frac{150}{Cara} \right)^C * MOE$$

Todos estos modelos de regresión se basan en el empleo por Böstrom (1994) también sobre *Picea abies*, pero que en estos datos no ajusta. Dicho modelo es:

$$MOR = A * \left(\frac{50}{Espesor} \right)^B * \left(\frac{150}{Cara} \right)^C * MOE^D$$

RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

Los valores de los parámetros A, B y C además de los valores de los coeficientes de determinación R^2 para cada uno de los modelos del apartado anterior, se adjuntan en la tabla 1, tanto para el total de la muestra de pino silvestre como para cada una de las clases de calidad dadas por la norma UNE 56.544 (ME1, ME2).

Tabla 1
AJUSTES DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN POR LAS DIMENSIONES

$MOR = A * \left(\frac{50}{Espesor} \right)^B * MOE$				
	A	B	C	R²
TOTAL	3.94*10 ⁻³	0.168	-	54.1
ME1	4.61*10 ⁻³	0.038*	-	42.2
ME2	3.77*10 ⁻³	0.205	-	50.9
$MOR = A * \left(\frac{150}{Cara} \right)^C * MOE$				
TOTAL	3.87*10 ⁻³	-	0.207	54.5

ME1	$4.56 \cdot 10^{-3}$	-	0.158	42.9
ME2	$3.69 \cdot 10^{-3}$	-	0.242	51.5
$MOR = A * \left(\frac{50}{Espesor} \right)^B * \left(\frac{150}{Cara} \right)^C * MOE$				
TOTAL	$3.88 \cdot 10^{-3}$	0.035*	0.188	54.5
ME1	$4.54 \cdot 10^{-3}$	-0102*	0.203	43.1
ME2	$3.71 \cdot 10^{-3}$	0.065*	0.205	51.4

*No significativo

En estos datos se puede observar en primer lugar que el valor del parámetro B definidor del modelo para el espesor de la pieza, resulta estadísticamente no significativo, tanto para el ajuste que sólo incluye la variable del espesor, como en la regresión de las variables volumen, pudiendo ser eliminado del modelo sin que resultase afectado sustancialmente el ajuste.

También se comprueba que la influencia del volumen sobre la resistencia es más notable en la madera de calidad ME2 que en ME1, como es lógico puesto que la clase segunda será madera con más defectos y al aumentar sus dimensiones existirá aún mayor probabilidad de encontrar más.

Esto se corrobora al calcular el valor del factor corrector de altura para pino silvestre en cada una de las calidades, siendo el de las piezas de segunda calidad 0.22, un poco mayor que el obtenido tanto para el total como para las de calidad visual primera.

Comparando con los resultados obtenidos en un mismo estudio realizado con madera estructural de pino laricio (Fernández-Golfín *et al.* 2000), se observa la coincidencia de conclusiones en cuanto a la disminución de la resistencia que se produce al aumentar la altura de la cara y el volumen de la pieza, siendo también más marcado en madera de segunda calidad.

Sin embargo en la madera de pino laricio resultó no despreciable el efecto del canto, produciendo un aumento de resistencia conforme aumentaba, es decir, tiene una influencia contraria a la producida por la cara. Por esta razón, se insinúa la posibilidad de aplicar para esta especie un factor de corrección por volumen en vez de sólo por altura, quedando pendiente de confirmar con más investigaciones posteriores.

Al contrario que con la madera de pino silvestre, se propone la aplicación de un factor de altura mayor al actual de la norma para madera de pino laricio, puesto que en general, resulta superior.

CONCLUSIONES

Las conclusiones principales que se pueden extraer de los datos obtenidos con los análisis efectuados, son las siguientes:

1. Según aumenta el tamaño de la cara de la pieza, produce una disminución de la resistencia. Esta conclusión coincide con otros estudios ya realizados, además de con la norma EN 384.

2. Respecto a la influencia del canto, se comprueba que al aumentar éste, disminuye la resistencia, aunque en menor medida que la disminución que se produce al aumentar la altura de cara. Esta influencia es más patente en piezas de calidad ME1. Esto coincide con lo estudiado por Böstrom (1994).

3. Al analizar el efecto del volumen se comprueba que como se esperaba al aumentar el volumen de la pieza disminuye la resistencia y que en el modelo no influye el espesor que tenga la pieza. Además este efecto es mayor en piezas de calidad visual ME2. Como Böstrom (1994), pensamos que quizás se le este dando poca importancia al efecto volumen en el Eurocódigo 5.

4. En esta especie el factor de altura sigue el valor ya estipulado por el Eurocódigo 5 y la norma EN 384, 0.2. Esta conclusión discrepa de los trabajos de Böstrom (1994) que proponía un valor superior.

BIBLIOGRAFÍA

Böstrom, L.; (1994). *Machine strength grading: comparison of four differen systems*. Swedish

- National Testing and Research Institute, Building Technology SP Report 1994:49.
- Böstrom, L.; (1999). *Determination of the modulus of elasticity in bending of structural timber – comparison of two methods*. Swedish National Testing and Research Institute, Holz als Roh 57. 145-149.
- Curry W.T. & Tory J.R.; (1976). *The relation between the modulus of rupture (ultimate bending stress) and modulus of elasticity of timber*. Princes Risborough Laboratory.
- EN 384; (1999). *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad*.
- Fernández-Golfín, J.I. *et al.*; (1997). Caracterización mecánica de la madera aserrada de pino silvestre de los sistemas central e ibérico mediante probetas de tamaño estructural. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 6 (1 y 2)
- Fernández-Golfín, J.I. *et al.*; (2000). *Caracterización de la madera de Pinus nigra subsp. salzmannii*. Informe final del proyecto SC96-045-C.2.
- Gutiérrez A. *et al.*; (1996). Selvicultura, caracterización y aprovechamiento del *Pinus sylvestris* : sistemas central e ibérico (pinos Valsaín y Soria). Informe final del proyecto SC 93-165.
- Madsen, B.; (1992). *Structural behaviour of timber*. Timber Engineering LTD.
- UNE 56.544; (1999). *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural*.