



Revista Mexicana de Ciencias Forestales

ISSN: 2007-1132

ciencia.forestal2@inifap.gob.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Dávalos-Sotelo, Raymundo; Ordóñez Candelaria, Víctor Rubén

Influencia de los nudos sobre la resistencia en flexión estática en madera de tamaño
estructural

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 2, núm. 7, septiembre-octubre, 2011, pp.
43-56

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438963004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

INFLUENCIA DE LOS NUDOS SOBRE LA RESISTENCIA EN FLEXIÓN ESTÁTICA EN MADERA DE TAMAÑO ESTRUCTURAL

EFFECT OF KNOTS ON THE BENDING STRENGTH OF PINE WOOD FOR STRUCTURAL USE

Raymundo Dávalos-Sotelo¹ y Víctor Rubén Ordóñez Candelaria¹

RESUMEN

En este trabajo se determina el efecto de los nudos sobre la resistencia a flexión de la madera de pino de usos estructurales. Se presenta la información de un conjunto de datos experimentales acerca de la resistencia estructural de la madera de pinos mexicanos y, mediante análisis de tipo estadístico, se define de manera cuantitativa este efecto. Se ensayaron 150 especímenes de 38 mm x 89 mm x 2400 mm de dimensiones nominales en condición seca, provenientes del Estado de México. Se analizó la relación de la razón de área de nudos (RAN) con la resistencia (Módulo de Ruptura: MOR) y se generaron ecuaciones de regresión lineal múltiple que incluyen al módulo de elasticidad. Se concluye que el efecto de los nudos sobre la resistencia a la flexión de la madera de pino es significativo y su presencia causa una disminución de la misma. Las ecuaciones de regresión lineal múltiple calculadas para varios subconjuntos de datos de la muestra estudiada registraron valores bajos de R^2 para la relación RAN-MOR, los que se incrementaron significativamente cuando se incluyó en el cálculo el Módulo de Elasticidad (MOE). Con esta información, sería posible determinar los valores de RAN aceptables para las distintas clases de madera estructural. Estos análisis permitirían revisar si las reglas de clasificación actuales son eficientes, como están planteadas, o si sería conveniente modificarlas. Para dichos fines, aparte de los nudos, deben considerarse todos los defectos que contiene la madera de pino comercial.

Palabras clave: Clasificación de la madera, esfuerzos de diseño, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, razón de área de nudos, usos estructurales.

ABSTRACT

In this study the effect of knots on the bending strength of pine wood for structural use is determined. Information is presented of a set of experimental data on the bending strength of Mexican pine wood and statistical analyses were made to quantitatively define this effect. One hundred and fifty specimens of 38 mm x 89 mm x 2400 mm in nominal size from the State of Mexico were tested in air-dry condition. The relationship of the knot area ratio (KAR) with strength (Modulus of rupture: MOR) was evaluated and multiple linear regression equations were generated, including the modulus of elasticity, in addition to these two variables. It is concluded that the effect of knots on bending strength of pine wood is substantial and that their presence causes a decrease of its values. The multiple linear regression equations calculated for various subsets of the sample data show low levels of R^2 for the relationship RAN-MOR but this increases significantly if Modulus of Elasticity (MOE) is included in the calculation. With this information, it could be possible to determine the acceptable values of KAR for different types of structural wood. These analyses could help to assess the efficiency of the current grading rules and to determine if they should be modified. To this end, apart from the knots, all apparent defects in commercial pine wood should be considered.

Key words: Stress grading, design values, modulus of rupture, modulus of elasticity, knot area ratio, structural uses.

Fecha de recepción: 5 de febrero de 2010.

Fecha de aceptación: 9 de septiembre de 2011.

¹ Red Medio Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología. Correo- e: raymundo.davalos@inecol.edu.mx

INTRODUCCIÓN

La respuesta estructural de la madera depende de las condiciones intrínsecas del material. Entre los principales factores que definen la resistencia de la madera de coníferas están las características de crecimiento tales como: nudos, bolsas de resina y la densidad. Desde el punto de vista de su aplicación estructural, la mayoría de ellas pueden considerarse como defectos. En el caso de los pinos, los nudos son el principal defecto que incide en las propiedades mecánicas de la madera. La evaluación del efecto de los nudos sobre la resistencia mecánica de la madera es de fundamental importancia para la generación de reglas de clasificación y para derivar los valores de diseño asociados a las mismas; su impacto se ha determinado en varias especies (Lam *et al.*, 2004; 2005). En México, Dávalos-Sotelo y Limón (2009) lo estimaron sobre una pequeña muestra de especímenes de madera de pino de 50 mm x 50 mm x 760 mm.

En otros trabajos se han estudiado diversos métodos de evaluación no destructiva de la madera, entre ellos la evaluación del módulo de elasticidad (MOE) de tableros de madera reconstituida (Sotomayor, 2003), el comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis* sp. (Sotomayor y Villaseñor, 2006) y la determinación de la velocidad del ultrasonido en la madera de *Picea* sp. y de *Acer* sp. (Sotomayor y Bocanegra Ojeda, 2009), pero hasta el momento no se han aplicado dichas técnicas a la madera de pino de usos estructurales. Un antecedente del uso de técnicas no destructivas para predecir la resistencia de la madera de pinos mexicanos se consigna en Dávalos-Sotelo (1979).

Se entiende por piezas de tamaño estructural aquellas con dimensiones como las que se utilizan en aplicaciones reales. Este enfoque fue impulsado, entre otros, por Madsen (1992) y aún se emplea para determinar la resistencia de la madera estructural en la mayoría de los países. El conjunto de pruebas cuyos resultados se presentan aquí forman parte de un trabajo más amplio, que fue la base para crear la regla de clasificación visual para la madera de pino de uso estructural y los valores especificados de la madera de coníferas en el Reglamento de Construcciones vigente en el Distrito Federal (GDF, 2004).

Los objetivos de este estudio fueron: 1) determinar de manera explícita el efecto de los nudos sobre la resistencia a flexión estática de la madera de pino de usos estructurales; 2) analizar con herramientas modernas la información de un conjunto de datos experimentales obtenidos anteriormente, pero no publicados a la fecha, acerca de la resistencia estructural de la madera de pinos mexicanos y, 3) plantear las posibles modificaciones a la Norma Mexicana de Clasificación Estructural de la Madera de Pino (DGN, 1985) que se juzguen necesarias como resultado del análisis, mucho más preciso y detallado que los que condujeron a la elaboración de la norma original.

INTRODUCTION

The structural response of wood depends of the inherent al properties of the material. Among the major factors that define the strength of softwoods are their growth features such as knots, resin bags and density. From the viewpoint of its structural application, most of them can be considered as defects. In pines, knots are the main defect that influences upon the mechanical properties of wood. The assessment of the effect of knots upon the mechanical strength of woo is basic for the formulation of classification regulations and to direct the design values related to them; its impact has been determined in several species (Lam *et al.*, 2004; 2005). In Mexico, Dávalos-Sotelo and Limón (2009) made an estimation on a small sample of 50 mm x 50 mm x 760 mm pine wood specimens.

Several assessment of non destructive wood methods, such as the Modulus of Elasticity (MOE) of particle boards (Sotomayor, 2003), the viscoelastic behavior of *Prosopis* sp. wood (Sotomayor and Villaseñor, 2006) and the determination of ultrasound speed of *Picea* sp. and *Acer* sp. wood (Sotomayor and Bocanegra-Ojeda, 2009), but, at present, such techniques have not been applied to structural pine wood. Dávalos-Sotelo (1979) is a precedent about the use of non - destructive techniques to predict the strength of Mexican pine wood.

By structural size pieces is understood those that have dimensions as those used in real applications. This focus was fostered by several authors, such as Madsen (1992) and is still used to determine the resistance of structural wood in most countries. The results of the that are shown here are part of a broader research, that were the basis to create the visual classification rule for structural use of pine wood and the specific values for softwoods in the current Building Regulations for Distrito Federal (GDF, 2004).

The aims of this study were: 1) to determine in an explicit way the effect of knots upon the bending strength of pine wood for structural use; 2) to analyze by means of present-day tools the information of a group of experimental data obtained previously but unpublished yet, about the structural resistance of wood of Mexican pines; and 3) to propose possible modifications to the Mexican Regulation of Structural Classification of Pine Wood (DGN, 1985), that are considered necessary as a result of the analysis, much more precise and detailed than those which were used for the original rule.

The fundamental hypothesis of this study is that there is a direct relation between the mechanical resistance (Modulus of Rupture: MOR) and the magnitude of defects of wood, expressed as the Knot Area Ratio (KAR). This relation is the basis of the criteria of visual classification of wood used for structural endings, in Mexico as in most countries.

La hipótesis fundamental del estudio es que existe una relación directa entre la resistencia mecánica (Módulo de ruptura: MOR) y la magnitud de los defectos de la madera, expresada como la razón de área de nudos (RAN). Esta relación es la base de los criterios de clasificación visual de la madera usada para fines estructurales, tanto en México como en la mayor parte de las naciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ensayaron en flexión 150 piezas de madera de pino de dimensiones nominales de 38 mm x 89 mm x 2400 mm ($1\frac{1}{2}$ " x $3\frac{1}{2}$ " x 8') en condición seca. El material fue proporcionado por un aserradero ubicado en Zinacantepec, Estado de México. La muestra se extrajo de la producción habitual del aserradero, por lo que se ignora las especies, lo que es común en la práctica comercial de México. Las pruebas se hicieron de acuerdo con los procedimientos de la norma ASTM D198-08 (2008).

Previo al ensayo en flexión estática se obtuvieron fotografías de cada pieza para tener constancia de sus características (Figura 1). Se registraron los defectos que se apreciaban en los especímenes; en el caso de nudos, se dibujaron los esquemas correspondientes en las secciones que se consideraron críticas.

Con esa información se calculó la razón de área de nudos (RAN), que se define como la razón del área de un nudo o grupo de nudos proyectada sobre la sección transversal de una pieza (ecuación 1) (Dávalos-Sotelo y Limón, 2009). Para la obtención de la razón de área nudosa (RAN), se diseñó un formato de registro para cada pieza, en la que se dibujó a escala la sección transversal de la misma. En el formato se trazaron las proyecciones de las nudosidades comprendidas en un tramo de longitud menor o igual al ancho de la pieza. Para el caso de la Figura 1 (pieza 32), el esquema del nudo observado se ilustra en la Figura 2, y su RAN es de 0.44.

$$RAN = \frac{\text{Área proyectada de nudos}}{\text{Área total de la Sección transversal}} \quad (1)$$

Se midieron el peralte y el ancho del material estudiado en tres sitios a lo largo del claro de carga (una en el centro y dos más a la altura de los apoyos), con flexómetro cuya precisión fue de 1 mm. Se determinó el contenido de humedad (CH) de cada pieza con higrómetro de resistencia eléctrica Delmhorst RC-1C. Los ensayos se hicieron sin poner atención a la posición del defecto mayor, en relación con la carga aplicada, a manera de simular las condiciones de trabajo en la práctica de la construcción, por lo que en ocasiones ese defecto quedaba en tensión y otras en compresión. El claro de carga fue de 2,100 mm.

MATERIALS AND METHODS

150 bent pine wood pieces of 38 mm x 89 mm x 2400 mm ($1\frac{1}{2}$ " x $3\frac{1}{2}$ " x 8') nominal size in dry condition were essayed. The material was handled by a saw-mill located in Zinacantepec, Estado de Mexico State. As the sample was taken from the regular production, there is no control of the identity of the species, which is rather common in Mexico. Tests were carried out following the procedures of the ASTM D198-08 (2008) regulation.

Before the essay on static bending photographs of each piece were obtained in order to have a support of their features (Figure 1). The defects that were detected in the specimens were recorded; when there were knots, the corresponding schemes were drawn in the sections that were determined as crucial.

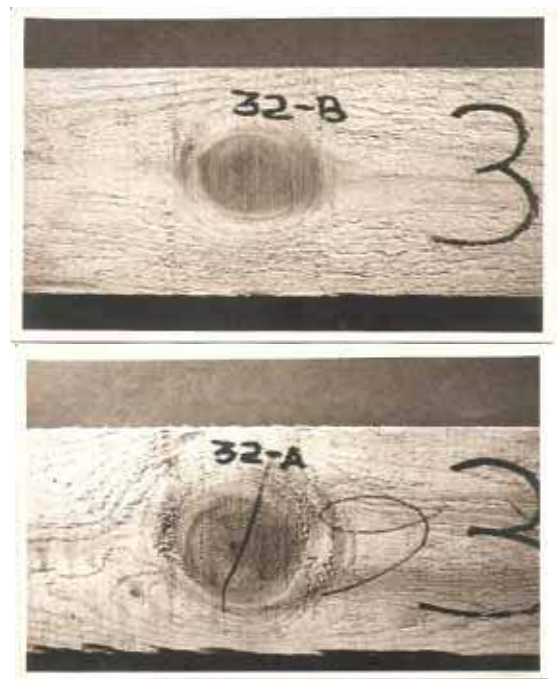


Figura 1. Fotografías de una pieza ensayada con presencia de nudos. Caras A y B (pieza 32).

Figure 1. Photographs of a tested piece with knots. A and B faces (piece number 32).

With that information was determined the relationship of the knot area ratio (KAR) that is defined as the relation of the knot area or group of knots projected over the transverse section of a piece (equation 1) (Dávalos-Sotelo and Limón, 2009). In order to determine knot area ratio (KAR) a format to keep the record of each piece, in which a cross-cutting section of it was designed. In the format were drawn the projections of the knots included in the range of minimal length or equivalent to the width of the piece. In the case of Figure 1 (piece number 32), the scheme of the observed knot is illustrated in Figure 2 and its KAR is 0.44.

Las figura 3 y 4 muestran un esquema de la máquina de pruebas de flexión en tamaño estructural y los detalles de sus componentes.

La carga se aplicó a una velocidad constante de $1.85 \times 10^{-4} \text{ *L}^2/h \text{ mm min}^{-1}$ (L = claro de carga; h = peralte de la viga). El valor de la velocidad de carga para las secciones fue de 102 mm min^{-1} . De acuerdo con la norma ASTM D198-08, la velocidad de carga se determina de tal manera que la falla del espécimen ocurra en un tiempo de 6 a 20 minutos, posteriores al inicio de la carga. Después de rebasar el límite de proporcionalidad o una deflexión de 100 mm se retiró el deflectómetro, para evitar que se dañara. Continuó aplicándose carga hasta la falla total del material. Se generó una gráfica carga-deflexión para cada pieza, en cada ensayo se registró la carga máxima y las características de la probeta que pudieran haber influido en la falla.

En la gráfica carga-deflexión del formato de registro se identificó la parte proporcional de la curva y se trazó una línea recta sobre ella. Este procedimiento se usó para estimar la carga en el límite de proporcionalidad sobre la curva. Con los valores de la carga y la deflexión correspondientes al 20 % y 80 % de la carga se estimó el valor del módulo de elasticidad MOE. Los resultados de la prueba se determinaron con las ecuaciones estándar de mecánica de materiales (ecuaciones 2 a 6) (Gere y Timoshenko, 1993):

$$RAN = \frac{\text{Projected knot area}}{\text{talcross-cutting are}} \quad (1)$$

The slope and width of the material that was analyzed in three sites along the clearance of load (one in the center and two more at the level of the supports) was measured with a 1 mm precision flexometer. Moisture content (MC) was determined for each piece with a Delmhorst RC-1C electric resistance hygrometer. The tests were made without taking care of the position greater defect in regard to the applied load, in such a way that the labor construction conditions were simulated, which, some times that defect stayed in tension and others in compression. The clearance of load was of 2,100 mm.

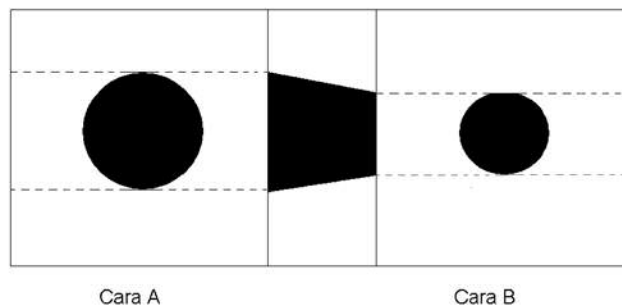


Figura 2. Área proyectada del nudo de la Figura 1 (pieza 32).
Figure 2. Knot projected area of Figure 1 (piece 32).

Figures 3 and 4 show a scheme of the machine for bending stress for structural use and details of their components.

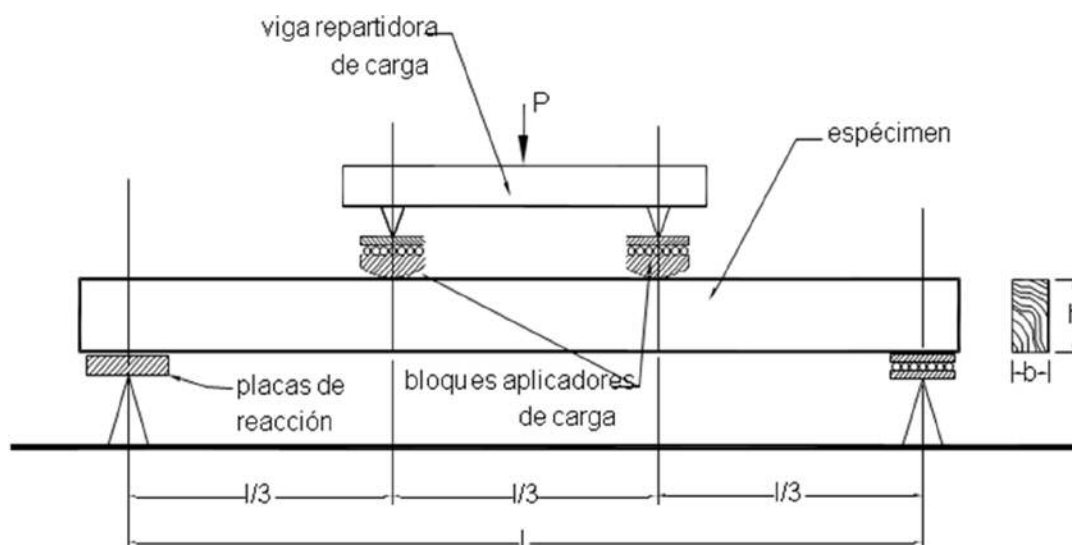
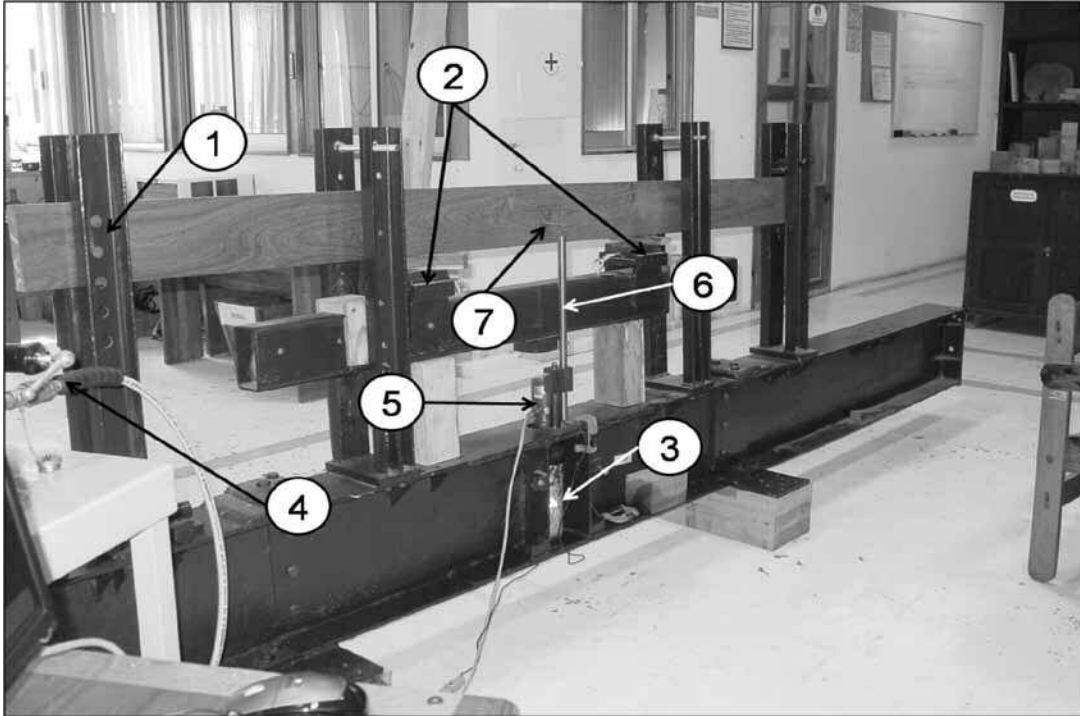


Figura 3. Esquema de la forma de aplicación de la carga en la prueba de flexión con madera de tamaño estructural.

Figure 3. Scheme of the load application form in the bending test of wood of structural use.



1 = postes de apoyo; 2 = aplicadores de carga a una separación de 1/3 del claro de prueba; 3 = cilindro de carga; 4 = bomba hidráulica; 5 = celda de carga; 6 = transductor de deformación con alcance de 150 mm en su soporte; 7 = espécimen de ensayo.
1 = support posts; 2 = load applicators with a separation of 1/3^d of the test clearance; 3 = load cylinder; 4= hydraulic bomb; 5= load cell; 6= deformation transducers of 150 mm reach in their support; 7=test specimen.

Figura 4. Montaje de la prueba de flexión estática de tamaño estructural.
Figure 4. Assembly of the static flexion test of structural size.

Momento flexionante:

$$M_{\text{máx}} = \frac{P_{\text{máx}} \cdot L}{6} \quad (2)$$

Esfuerzo en el límite de proporcionalidad:

$$f_{lp} = \frac{P_{lp} \cdot L}{6I} \text{ y } \frac{P_{lp} \cdot L}{bh^2} \quad (3)$$

Módulo de ruptura:

$$MOR = \frac{P_{\text{máx}} \cdot L}{6I} \text{ y } \frac{P_{\text{máx}} \cdot L}{bh^2} \quad (4)$$

Módulo de elasticidad:

$$MOE = \frac{23 m \cdot L^3}{1296 I} = \frac{23 mL}{108 bh^3} \quad (5)$$

Fuerza cortante:

$$V_{\text{máx}} = \frac{P_{\text{máx}}}{2} \quad (6)$$

Donde:

b = ancho promedio del espécimen (mm)
 h = peralte promedio del espécimen (mm)

The load was applied to a constant speed of $1.85 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{L}^2/\text{h mm min}^{-1}$ (L = load clearance; h = beam cant). The load speed value for the sections was 10.2 mm min^{-1} . According to the ASTM D198-08 regulation, load speed is determined in such a way that the failure of the specimen occurs in a 6 to 20 minute period, after the load is started. After surpassing the limit of proportion or a 100 mm deflection, the deflectometer was removed to prevent damage. Load continued to be added until the total failure of the material. A load-deflection graphic for each piece was made, in each test the maximal load was recorded and the characteristics of the test specimen that could have influenced on the failure.

In the load-deflection graphic of the record format the proportional part of the curve was identified and a straight line over it was drawn. This procedure was use to estimate the load in the proportionality limit of the curve. With the load and deflection values that belong to 20 and 80% of the load was estimated the value of the Modulus of Elasticity (MOE). The results of the test were determined with the standard equations of material mechanics (equations 2 to 6) (Gere and Timoshenko, 1993):

f_p = esfuerzo en el límite de proporcionalidad (MPa)

I = momento de inercia de la sección transversal del espécimen (mm⁴)

L = claro de carga (mm)

$m = \Delta P / \Delta \delta$, pendiente de la parte elástica lineal de la gráfica carga-deflexión (N mm⁻¹)

M_{max} = momento máximo (N•mm)

MOE = módulo de elasticidad (GPa)

MOR = módulo de ruptura (MPa)

P_p = carga en el límite de proporcionalidad (N)

P_{max} = carga máxima de flexión (N)

V_{max} = fuerza cortante máxima (N)

y = distancia a la fibra más alejada del eje neutro (mm)

En las expresiones para estimar las propiedades de los especímenes se utilizaron los valores promedio de tres mediciones del ancho (b) y del peralte (h) a lo largo de la pieza. Los valores de las propiedades mecánicas se ajustaron a un contenido de humedad uniforme de 18%, con el procedimiento descrito por Ordóñez y Dávalos-Sotelo (1996). A continuación se presenta la ecuación de ajuste por contenido de humedad para resistencia (módulo de ruptura) (ecuación 7):

$$MOR_{18} = MOR_{CH} \left[1 - \frac{1}{0.3997} \ln \frac{MOR_{CH}}{248.3} \cdot \frac{18 - CH}{100} \right] \quad (7)$$

y para el módulo de elasticidad:

$$MOE_{18} = MOE_{CH} \left[1 - \frac{1}{0.8954} \frac{MOE_{CH}}{52286} \cdot \frac{18 - CH}{100} \right] \quad (8)$$

Donde:

MOR_{18} = módulo de ruptura con contenido de humedad ajustado a 18%

MOR_{CH} = módulo de ruptura

CH = contenido de humedad al momento de ensayo (variable)

MOE_{CH} = módulo de elasticidad

MOE_{18} = módulo de elasticidad con contenido de humedad ajustado a 18%

Flexing Moment:

$$M_{max} = \frac{P_{max} \cdot L}{6} \quad (2)$$

Effort in the limit of proportionality:

$$f_p = \frac{P_p \cdot L}{6I} y = \frac{P_p \cdot L}{bh^2} \quad (3)$$

Modulus of rupture:

$$MOR = \frac{P_{max} \cdot L}{6I} y = \frac{P_{max} \cdot L}{bh^2} \quad (4)$$

Modulus of elasticity:

$$MOE = \frac{23 m \cdot L^3}{1296 I} = \frac{23 mL}{108 bh^3} \quad (5)$$

Cutting force:

$$V_{max} = \frac{P_{max}}{2} \quad (6)$$

Where:

b = average width of the specimen (mm)

h = average cant of the specimen (mm)

f_p = effort in the limit of proportionality (MPa)

I = inertia momentum of the cross-cutting section of the specimen (mm⁴)

L = load clearance (mm)

$m = \Delta P / \Delta \delta$, gradient of the linear elastic part of the load-deflection graphic (N mm⁻¹)

M_{max} = maximal momentum (N•mm)

MOE = Modulus of elasticity (GPa)

MOR = Modulus of rupture (MPa)

P_p = load at the limit of proportionality (N)

P_{max} = maximal bending load (N)

V_{max} = maximal cutting force (N)

y = distance of the furthest fiber from the neutral axis (mm)

In the expressions to estimate the properties of the specimens were used the average values of the three measurements of width (b) and bank (h) along the piece. The values of the mechanical properties were adjusted to a moisture content of 18%, with the described procedure by Ordóñez and Dávalos-Sotelo (1996).

De las piezas que no se emplearon para la ruptura en flexión estática, se seleccionaron especímenes para medir la densidad básica (peso anhidro entre volumen verde).

Los resultados de las pruebas mecánicas se analizaron por medio de curvas de regresión para determinar la correlación estadística entre la RAN y el módulo de ruptura (MOR), para las 150 piezas, se utilizó el método de mínimos cuadrados para ajustar una línea o tendencia a un conjunto de observaciones por medio de la hoja de cálculo Excel. Se empleó esta herramienta para analizar la forma en que los valores de RAN afectan a la variable dependiente MOR. Con base en el conjunto de datos generado, la regresión permite determinar la incidencia del factor estudiado (RAN) en la resistencia a flexión estática (MOR).

El coeficiente de determinación (R^2) indica el valor estadístico de la relación entre la variable independiente (RAN) y la dependiente (MOR). Se utilizó la estadística F para determinar si los resultados se produjeron por azar. Con los valores F y df (grados de libertad) obtenidos con la función Estimación Lineal de la herramienta Regresión de la hoja de cálculo Excel se definió la probabilidad de que se genere por azar un valor F más elevado. Con la función DISTR.F de Excel se calculó la probabilidad de que se produzca por azar un valor F mayor con los grados de libertad $v1 = n - df - 1$ y $v2 = df$, donde n es el número de puntos o valores registrados de datos. Se supuso un alfa de 0.05 para estimar el valor crítico de F . Habría que rechazar la hipótesis de que no hay relación entre MOR y RAN, cuando F sobrepase el nivel crítico.

Los análisis de regresión se efectuaron primero con el conjunto total de datos y posteriormente se subdividieron en subconjuntos de acuerdo con las reglas de clasificación vigentes; en primera instancia, se consideraron las piezas aptas para fines estructurales y se excluyeron las piezas no aptas, a continuación se hicieron subconjuntos que incluyeron las piezas de cada clase estructural.

RESULTADOS

En la Figura 5 se muestra la correlación estadística entre la RAN y el módulo de ruptura (MOR) para las 150 piezas ensayadas. La ecuación de regresión determinada con este análisis fue:

$$MOR = -46.59 \cdot RAN + 46.05 \text{ (MPa)}$$

Para derivar esfuerzos de diseño, a partir de los datos de la Figura 5, sería necesario estimar los valores de la cola inferior de la distribución de resistencias en cada intervalo de resistencias definido para las clases estructurales, lo cual se logra mediante el cálculo de la curva que representa el nivel del 5° percentil de los datos. Para ello se restó del valor de MOR registrado para cada pieza, el valor del error estándar de la estimación multiplicado por 1.645 (denominado CVE en este trabajo), que corresponde al nivel del 5°

The fitting equation of moisture content for resistance (Modulus of Rupture) (equation number 7) is shown as follows:

$$MOR_{18} = MOR_{CH} \left[1 - \frac{1}{0.3997} \ln \frac{MOR_{CH}}{248.3} \cdot \frac{18 - CH}{100} \right] \quad (7)$$

and for the Module of Elasticity:

$$MOE_{18} = MOE_{CH} \left[1 - \frac{1}{0.8954} \frac{MOE_{CH}}{52286} \cdot \frac{18 - CH}{100} \right] \quad (8)$$

Where:

MOR_{18} = Modulus of rupture with moisture content adjusted to 18%

MOR_{CH} = Modulus of rupture

CH = moisture content at the testing moment (variable)

MOE_{CH} = Modulus of elasticity

MOE_{18} = Modulus of elasticity with moisture content adjusted to 18%

Specimens were selected to measure basic density from the pieces that were not used to determine the static bending rupture (anhydrous weight into green volume).

Results of the mechanical tests were analyzed by means of the regression curves to determine the statistical correlation into the RAN and the Modulus of Rupture (MOR), for the first 150 pieces, was used the least squares method to fit a line or tendency to a group of events by means of an Excel calculus sheet. This tool was used to analyze the way in which the RAN values affect the dependent MOR variable. Based upon the group of data that were produced, regression allows to determine the incidence of the factor that has been analyzed (RAN) in regard to the static bending stress (MOR).

The determination coefficient (R^2) refers to the statistical value of the relation between the independent (RAN) and the dependent variable (MOR). F was used to find if results were produced at random. With the F and df (degrees of freedom) values generated by the Linear Estimation of the Regression tool of the Excel calculus sheet was defined the probability that a higher F value was generated by means of the DISTR.F function with the $v1 = n - df - 1$ y $v2 = df$ degrees of freedom, where n is the number of dots or registered data values. An 0.05 alfa was established in order to estimate the critical value of F . The hypothesis that there is no relation between MOR and RAN should be rejected, when F surpasses the critical level.

The regression analysis were made first with the total group of data and later were subdivided into subgroups according to

percentil de la distribución normal. Esta línea o tendencia también se observa en la Figura 5 y su representación es una ecuación de tipo exponencial, en la que se considera el ancho variable de los residuales de la expresión de la recta de ajuste de mínimos cuadrados:

$$MOR = 17.45 * e^{-1.69 * RAN}$$

En la parte inicial (izquierda) de la gráfica, los residuales (la diferencia entre los puntos o valores registrados y la recta de regresión) son muy amplios y se reducen hacia la parte superior de la distribución de resistencias (parte derecha de la gráfica). Así, se evita generar valores negativos de la distribución de los valores del 5° percentil, los que son físicamente imposibles de observar.

Una ecuación de regresión lineal múltiple que involucre al módulo de elasticidad (MOE) y a la RAN es una mejor opción para fines de predicción de los valores de MOR (Dávalos-Sotelo y Limón, 2009). En este caso, no se consideró práctico incluir la densidad básica en la ecuación de regresión porque sería una variable difícil de medir en los sitios donde se clasifica la madera, generalmente los aserraderos. Al considerar las dos variables como independientes se determinó una ecuación de regresión múltiple del tipo $y = m_1x_1 + m_2x_2 + b$.

Como el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de los nudos sobre la resistencia, se realizó un segundo análisis de regresión en el cual se eliminaron del conjunto de datos a las piezas que fallaron por una característica: desviación de la fibra, rajaduras, ataque de insectos, etc. Con la muestra así seleccionada se generó otra ecuación de regresión múltiple en la que se tomaron en cuenta únicamente las piezas que cumplían con dicha restricción (108 piezas). Una tercera ecuación de regresión lineal incluyó tan solo las piezas que tuvieron un valor de RAN menor o igual a 0.50, que es el máximo admitido por las reglas de clasificación vigentes (DGN, 1985) (103 piezas).

Por último, se obtuvieron una cuarta y una quinta ecuación de regresión lineal mediante la selección de las piezas de madera por clase estructural, de conformidad con las reglas de clasificación actuales (85 piezas para la Clase "A" y 18 piezas para la Clase "B"). En el Cuadro 1 se muestran los coeficientes m_1 = Coef MOE y m_2 = Coef RAN de las cinco ecuaciones de regresión lineal generadas, que incluyen la ordenada al origen (b), el coeficiente de determinación (R^2) y el valor de CVE que permitió calcular la curva de MOR_{05} . Así mismo se consignan, para referencia, los coeficientes de la ecuación derivada por Dávalos-Sotelo y Limón (2009) para probetas pequeñas de madera.

the present classification rules; in the first place, the right pieces for structural purposes were considered and the non fit were excluded, after which were formed subgroups that included pieces of each structural class.

RESULTS

In Figure 5 is shown the statistical correlation between RAN and the Modulus of Rupture (MOR) for the 150 pieces that were tested. The regression equation from this analysis was:

$$MOR = -46.59 * RAN + 46.05 \text{ (MPa)}$$

To derive design efforts, from data in Figure 5 it would be necessary to estimate the value of the lower tail of the strength distribution in each interval of strengths defined for structural classes, which is accomplished by the calculus of the curve that refers to the 5th percentile level of the data.

Thus, from the MOR registered value for each piece, the standard error of the estimation multiplied by 1.645 (known as CVE in this paper) was subtracted, that belongs to the 5th percentile level of the normal distribution. This line or tendency is also observed in Figure 5 too, and it is represented by an exponential equation, in which it is considered the width variable of the residuals of the expression of the fitting straight line of least squares:

$$MOR = 17.45 * e^{-1.69 * RAN}$$

In the initial part (left) of the graphic, residuals (the difference among the dots or registered values and the regression line) are very wide and become smaller towards the upper side of the strength distribution (right of the graphic). Thus, it is avoided the generation of negative values of the distribution of the values of the 5th percentile, which are physically impossible to observe.

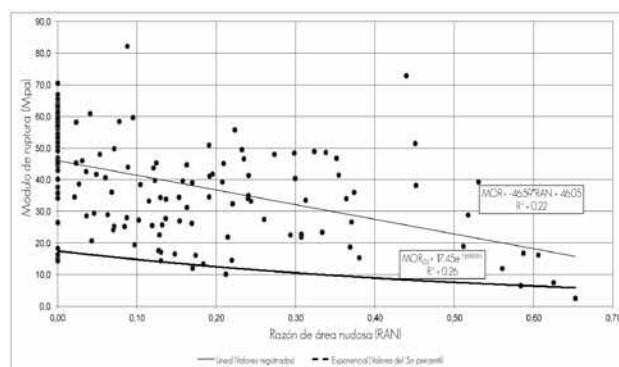


Figura 5. Correlación estadística entre la RAN y el MOR de 150 piezas.

Figure 5. Statistical correlation between RAN and MOR of 150 pieces.

En el Cuadro 2 se reúnen los valores estadísticos: media, desviación estándar y coeficiente de variación de la resistencia (MOR), de la RAN y del módulo de elasticidad (MOE) de los cinco subconjuntos de datos analizados con las ecuaciones de regresión múltiple. Los datos de la densidad corresponden al promedio del conjunto total de las piezas obtenidas con una muestra de 46 especímenes seleccionados al azar del total. Para fines de comparación, se incluyen los valores correspondientes para pequeñas probetas (Dávalos-Sotelo y Limón, 2009).

En el Cuadro 3 se resumen los valores de $MOR_{0.05}$ estimados con la ecuación que representa el 5° percentil de la distribución para cada grupo analizado y para diferentes valores de RAN. La información de la segunda columna se obtuvo de la ecuación exponencial de $MOR_{0.05}$ (Figura 5), para las columnas 3, 4 y 5 se utilizaron gráficas semejantes a la Figura 5, elaboradas para cada uno de los cinco casos analizados, correspondientes a los grupos planteados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Coeficientes de las ecuaciones de regresión múltiple.
Table 1. Coefficients of multiple regression equations

Muestra considerada	Tamaño de muestra	Coef MOE	Coef RAN	b	R^2	CVE
Todas	150	3.69	-16.09	3.07	0.60	0.27
Controladas por RAN	108	2.93	-27.02	16.23	0.66	0.19
Con límite RAN = 0.50	103	2.87	-25.30	16.97	0.56	0.18
Clase A (exclusivamente por nudos)	85	2.46	-47.37	22.92	0.55	0.17
Clase B (exclusivamente por nudos)	16	2.73	-19.83	16.53	0.38	0.26
Pequeñas probetas	17	6.13	-16.16	10.21	0.84	0.11

MOE = módulo de elasticidad; RAN= razón de área de nudos; b = ordenada de origen; CVE = valor del error estándar a la estimación multiplicada por 1.645.
MOE = Modulus of elasticity; RAN= knot area ratio; b = origin ordinate; CVE = standard error value to the multiplied estimation by 1.645.

DISCUSIÓN

La regresión calculada entre las variables MOR vs RAN muestra una tendencia definida claramente: la RAN está inversamente relacionada con la resistencia (MOR). Su coeficiente de determinación R^2 es bajo (0.22), lo que indica que solo 22 % de la correlación estadística es explicada por la variable independiente. Sin embargo, este valor es similar al registrado en la literatura. Adell (2005) cita una $R^2 = 0.38$ para la relación entre nudos evaluados sobre la cara, según el criterio de la regla de clasificación española

An equation of multiple linear regression that involves the Modulus of Elasticity (MOE) and RAN is a better option for predictive endings of MOR values (Dávalos-Sotelo and Limón, 2009). In this case, it is not considered practical to include basic density in the regression analysis because it would be a difficult variable to measure in places where wood is not classified, as regularly occurs in saw mills. When the two variables were considered independent, it was determined a multiple regression equation of the $y = m_1x_1 + m_2x_2 + b$ type.

As the aim of the actual study was to determine the effect of knots upon strength, a second regression analysis was made in which were eliminated those pieces that failed by one feature: fiber deviation, cracks, insect attack etc. With the sample in such a way was formulated another equation of multiple regression in which were included only the pieces that satisfied such a limitation (108 pieces). A third equation of linear regression considered only the pieces which had a RAN under or equal to 0.50, which is the maximum admitted by the prevalent classification regulations (DGN, 1985) (103 pieces).

Finally, a fourth and fifth linear regression equation were obtained by means of the selection of wooden pieces of structural class, according to such rules (85 pieces for "A" Class and 18 pieces for "B" Class). In Table 1 are shown the m_1 = Coef MOE and m_2 = Coef RAN coefficients of the five linear regression equations that were generated, that include the origin ordinate (b), the determination coefficient (R^2) and the CVE value that allowed to calculate the $MOR_{0.05}$ curve. As a reference, there are also, the coefficients of the equation of Dávalos-Sotelo and Limón (2009) for wood-test of small size.

Cuadro 2. Parámetros estadísticos de las propiedades físicas y mecánicas de los cinco subconjuntos de datos analizados.
Table 2. Statistical parameters of the physical and mechanical properties of the five subgroups of analyzed data.

Muestra considerada	Tamaño de muestra	Estadísticos	MOR ₁₈ (MPa)	RAN	MOE ₁₈ (GPa)	Densidad básica * (PA/VV)
Todas	150	Media	39.4	0.14	10.5	0.430
		Desv. Est.	16.4	0.16	3.1	0.05
		Coef. Var.	41.5	114.5	29.2	12.8
Controladas por RAN	108	Media	45.4	0.13	11.2	0.430
		Desv. Est.	14.4	0.16	3.0	0.05
		Coef. Var.	31.6	120.3	27.2	12.8
Con límite RAN ≤ 0.50	103	Media	46.9	0.12	11.5	0.430
		Desv. Est.	12.8	0.13	2.7	0.05
		Coef. Var.	27.2	116.3	24.0	12.8
Clase A (exclusivamente por nudos)	85	Media	48.6	0.07	11.7	0.430
		Desv. Est.	11.9	0.08	2.7	0.05
		Coef. Var.	24.5	127.1	22.6	12.8
Clase B (exclusivamente por nudos)	16	Media	36.0	0.34	9.6	0.430
		Desv. Est.	11.2	0.05	2.4	0.05
		Coef. Var.	31.0	14.1	25.1	12.8
Pequeñas probetas	17	Media	46.4	0.10	6.7	0.427
		Desv. Est.	11.5	0.10	1.7	0.05
		Coef. Var.	24.7	0.99	25.8	11.4

*La densidad básica calculada para las piezas de tamaño estructural es la misma muestra representativa en todos los casos, no es específica de un solo subconjunto.
MPa = megapascals; GPa = gigapascals; PA = peso anhidro (g); VV = volumen verde (cm³)

*The calculated basic density for the structural size pieces is the same representative sample in all cases; it is not specific of one single subgroup.
MPa = megapascals; GPa = gigapascals; PA = anhydrous weight (g); VV = green volume (cm³)

UNE 56544 y la resistencia a flexión. Gaunt (1999, 2005) calculó valores de $R^2 = 0.389$ y de 0.3625 para la relación estadística entre la RAN y MOR de especies de coníferas neozelandesas. Giudiceandrea (2005) presentó cifras para R^2 de 0.15 y 0.35, para la misma relación, sin definir las especies. Finalmente, Duff (2006) estimó un valor de $R^2 = 0.20$ para la regresión entre RAN y MOR en pino radiata de Australia.

Cuando se incluye el MOE en el análisis, la ecuación de regresión resultante indica un coeficiente de determinación R^2 mayor (0.60) para la muestra total ($n = 150$); es decir, la correlación estadística mejora de manera notable. Valores similares de R^2 fueron estimados por Green *et al.* (2006), para vigas redondas de madera de coníferas norteamericanas, $R^2 = 0.61$; $R^2 = 0.46$ para pino radiata de Australia

In Table 2 are gathered the statistical values mean, standard deviation and variation coefficient of strength (MOR), RAN and Modulus of Elasticity (MOE) of the five subgroups of analyzed data by the multiple regression equations. The density data belong to the average of the total group of pieces from a sample of 46 specimens selected at random. For comparison endings, the values of small wood-tests are included (Dávalos-Sotelo and Limón, 2009).

In Table 3 are summarized the MOR₀₅ values that were estimated with the equation representing the 5th percentile of the distribution for each group analyzed and for the different values of RAN. The information of the second column came from the exponential MOR₀₀₅ equation (Figure 5); for columns 3, 4

(Duff, 2006); $R^2 = 0.76$ para troncos de pequeño diámetro de pino *lodgepole*, $R^2 = 0.58$ para *Douglas fir* y $R^2 = 0.54$ para pino ponderosa.

Si se eliminan de la muestra las piezas que fallaron por causas distintas a los nudos, como se hizo para el subconjunto 2 ($n = 108$), los valores de las propiedades mecánicas se incrementan y su dispersión (expresada por los valores del coeficiente de variación) disminuye. Lo anterior responde a que varias de esas piezas no serían aceptables para fines estructurales por los defectos que contienen y sus valores de resistencia y rigidez son menores. Este efecto se observa en los valores del segundo subconjunto de datos analizados en el Cuadro 2.

Si el material se empleara en la construcción sin aplicar ningún criterio de selección estructural se le estaría dando un uso muy ineficiente. El objetivo de las reglas de clasificación es seleccionar la madera más apta para fines estructurales. En vista de tal situación, si se eliminan del análisis las piezas que de acuerdo con las reglas de clasificación serían inaceptables para construcción, es decir aquellas con un valor de RAN superior a 0.50, la correlación estadística mejora todavía más, y las propiedades mecánicas promedio del conjunto resultante se incrementan como se puede verificar en el tercer grupo de datos de los cuadros 1 y 2 ($n = 103$).

La cuarta y la quinta ecuación de regresión calculadas toman en cuenta únicamente las piezas dentro de una clase.

Para la madera de pinos, hay dos clases estructurales: A y B, correspondientes a piezas de alta ($n = 85$) y mediana resistencia ($n = 18$), respectivamente. En la ecuación de regresión se incluyeron solo aquellas piezas admitidas por la regla actual. Este análisis permite evaluar el efecto de dicha característica sobre la resistencia de una manera más consistente con la práctica de la construcción.

En el Cuadro 1 se observa el efecto de aplicar límites a los defectos. Cuando se clasifica la madera, la variabilidad del material se reduce significativamente al pasar de un coeficiente de variación (CVE) de 0.27 para la madera sin clasificar a un CVE de 0.17 para madera de alta calidad. El Cuadro 2 señala que los valores de las propiedades mecánicas (MOR y MOE) se incrementan cuando se aplican criterios de selección estructural. La madera de alta calidad presenta valores superiores, y son los de MOR y de RAN muy semejantes a la madera de las pequeñas probetas. Los valores de MOR para los otros grupos todos son inferiores, lo que corresponde con los de RAN, que son todos más grandes.

Es evidente que la selección de la madera de pino con base en criterios que consideran el tamaño de los nudos y su proporción de área, en relación con el área total de la sección transversal es un procedimiento válido y conveniente

and 5 were used graphics similar to Figure 5, made for each of the five analyzed cases, which belong to the groups in Table 1.

Cuadro 3. Valores de $MOR_{0.05}$ para los grupos analizados.
Table 3. $MOR_{0.05}$ values for the analyzed groups.

RAN	$MOR_{0.05}$ todas (MPa)	$MOR_{0.05}$ RAN (MPa)	$MOR_{0.05}$ $RAN \leq 0.50$ (MPa)	$MOR_{0.05}$ Clases A y B (MPa)
0.10	14.7	26.2	27.6	32.3
0.20	12.5	21.7	24.8	27.3
0.25	11.4	19.8	23.5	25.1
0.30	10.5	18.0	22.2	23.1
0.40	8.9	14.9	19.9	19.6
0.50	7.5	12.4	17.8	16.6

DISCUSSION

The calculated regression between the MOR vs RAN variables show a clearly defined tendency: RAN is inversely related with stress (MOR). Its determination coefficient R^2 is low (0.22), which means that only 22 % of the statistical correlation is explained by the independent variable. However, this value is similar to that recorded in literature. Adell (2005) quotes an $R^2 = 0.38$ for the ratio among knots assessed upon the side or face, according to the criterion of the UNE 56544 Spanish classification, and the bending strength. Gaunt (1999, 2005) calculated $R^2 = 0.389$ and 0.3625 values for the statistical relation RAN and MOR of softwoods from New Zealand. Giudiceandrea (2005) revealed $R^2 = 0.15$ y 0.35 for the same relation, without being specific about the species. Finally, Duff (2006) estimated $R^2 = 0.20$ for the regression between RAN and MOR in *Pinus radiata* D. Don. in Australia.

When MOE is included in the analysis, the resulting regression equation indicates an R^2 determination coefficient higher than (0.60) for the total sample ($n = 150$); that is, the statistical correlation notably improves. Similar R^2 values were estimated by Green *et al.* (2006), for softwood wooden round beams of North America, $R^2 = 0.61$; $R^2 = 0.46$ for *Pinus radiata* of Australia (Duff, 2006); $R^2 = 0.76$ for small diameter logs of Lodgepole pine, $R^2 = 0.58$ for Douglas fir and $R^2 = 0.54$ for Ponderosa pine.

If pieces that failed from causes different from knots are eliminated of the sample, such as it was made for the subgroup 2 ($n=108$), the values corresponding to the mechanical properties increase and their dispersal (expressed by the values of the variation coefficient) decrease. The latter results from the


para utilizar la madera en condiciones adecuadas para su uso estructural. Esto se deduce del análisis del Cuadro 3. Conforme aumenta el valor de RAN, disminuye la resistencia, es decir, a mayor tamaño de nudos (mayor valor de RAN), menor $MOR_{0.5}$.

CONCLUSIONES

Se determinó estadísticamente el efecto de los nudos sobre la resistencia a flexión estática de la madera de pino de usos estructurales, con técnicas de regresión lineal ($R^2 = 0.22$) y regresión lineal múltiple ($R^2 = 0.60$) en los cuales el MOE y RAN fueron las variables de predicción de MOR.

Se ilustró claramente el efecto de seleccionar la madera con criterios estructurales adecuados. Conforme se hace la selección de una manera más precisa, aumentan los valores de las propiedades mecánicas de la muestra ensayada de 39.4 MPa a 48.9 MPa y disminuye la dispersión de los valores, de un CV de 41.5 % a 24.5 %. Para fines de revisar las reglas de clasificación actuales y determinar si los valores de esfuerzos de diseño deben modificarse, será necesario incluir en los análisis la posición de los nudos en la sección transversal y el impacto que otros defectos tienen sobre la resistencia y rigidez de la madera de pino para usos estructurales.

Para complementar el criterio de selección y hacerlo más eficiente, es necesario tomar en cuenta la posición de los nudos en la sección transversal, pues es claro que esta tiene influencia en la resistencia por la distribución lineal de los esfuerzos de flexión.

Las reglas de clasificación que se definan también deben considerar otros defectos tales como las rajaduras, las bolsas de resina, el ataque de insectos, etc. 

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo CIID (IDRC) de Ottawa, Canadá por patrocinar la investigación original (Proyecto: 3-P-78-0065). A la M. I. Reyna Paula Zárate Morales por su apoyo en la captura de los datos y parte de las ecuaciones requeridas, además de colaborar con la edición de algunas de las figuras. A la Dra. Guadalupe M. Bárcenas Pazos por la revisión del documento y por sus atinadas sugerencias.

REFERENCIAS

- Adell, F. J. 2005. Comparación de las normas de clasificación estructural española (UNE 56544) y alemana (DIN 4074) para madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) de procedencia alemana. Proyecto de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. 188 p.
- American Society for Testing and Materials ASTM D198-08. 2008. Standard test methods of static test of lumber in structural sizes. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.10. ASTM International. W. Conshohocken, PA, USA. pp. 159-179.
- Dávalos-Sotelo, R. 1979. Design values for Mexican pine dimension lumber. Master of Sciences Thesis. College of Natural Resources, Colorado State University. Fort Collins, CO. USA. 178 p.

fact that some of these pieces would not be acceptable for structural purposes. This effect is observed in the values of the second subgroup analyzed in Table 2.

If the material would be used in building without any structural selection criterion, a very inefficient use of it would be made. The purpose of classification regulations is to select the fittest wood for structural purposes. In this regard, if unacceptable pieces for building are eliminated from the analysis, that is, pieces with a RAN over 0.50, the statistical correlation improves even more and the average mechanical properties of the resulting group increase, as can be checked in the third data group of Tables 1 and 2 (n = 103).

The fourth and fifth calculated regression equations take into account only pieces of one class. For pine wood, there are two structural classes: A and B, which are pieces of high strength (n=85) and medium strength (n = 18). In the regression equation were included only pieces admitted by the present regulation. This analysis allows the assessment of the effect of such feature upon strength in a more consistent way with the building practice.

In Table 1 was observed the effect of applying limits to defects. When wood is classified, the variability of the material is reduced in an important way when getting from a variation coefficient (CVE) of 0.27 for non-classified wood of a CVE of 0.17 for high-quality wood. Table 2 indicates that the values of the mechanical properties (MOR and MOE) increase when structural selection criteria were applied. High-quality wood has higher values and ROR and RAN are very similar to small test- wood. The MOR values for the other groups are all lower, which is corresponding to RAN, that are all greater.

It is evident that the selection of pine wood according to the criteria that consider the size of knots and its area in regard to the total area of the cross-cutting section is a valid procedure and adequate to use wood under the right conditions of structural use. This is inferred from the analysis in Table 3. As the RAN value increases, strength lowers, that is, as size of knots become bigger (higher RAN value) $MOR_{0.5}$ becomes smaller.

CONCLUSIONS


The effect of knots upon the effect of knots on the bending strength of pine wood for structural use was statistically determined with linear regression methods ($R^2 = 0.22$) in which MOE and RAN were the predictive variables of MOR.

The effect of selecting wood with the right structural criteria was clearly shown. As the selection is made with a more precise way, the values of the mechanical properties of the tested sample of 39.4 MPa a 48.9 MPa increase and diminish the dispersal values with 41.5 % a 24.5 % of CV. In order to review the rule of present classification and to determine if the

- Dávalos-Sotelo, R. y R. Limón G. 2009. Efecto de los nudos sobre la resistencia y rigidez en flexión de la madera de pino. *Revista Ciencia Forestal en México*. 34 (106): 205-212.
- Dirección General de Normas (DGN). 1985. Norma Mexicana NMX-C-239-1985. Calificación y clasificación de madera de pino para uso estructural. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México, D. F. México. 20 p.
- Duff, G. 2006. Technology for delivering high quality graded softwood product - practical applications. In: Gottstein Fellowship Report. J. W. Gottstein Memorial Trust Fund. The National Educational Trust of the Australian Forest Products Industries. Clayton South, Victoria, Australia. 172 p.
- Gaunt, D. 1999. Machine stress grading revisited. *New Zealand Timber Design Journal* 8(1):10-18.
- Gaunt, D. 2005. Upcoming changes for structural timber. *New Zealand Timber Design Journal* 13(1):19-25.
- Gere, J. M. y S. P. Timoshenko. 1993. *Mecánica de materiales*. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. México. 825 p.
- Giudiceandrea, F. 2005. Stress grading lumber by a combination of vibration stress waves and x-ray scanning. *Proceedings of Scandinavian Technical 2005 International Conference*. Las Vegas, NV, USA. pp. 99-108.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2004. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Diseño y Construcción de Estructuras de Madera. México, D. F. México. 41 p.
- Green, D. W., T. M. Gorman, J. W. Evans and J. F. Murphy. 2006. Mechanical grading of round timber beams. *Journal of Materials in Civil Engineering* 18(1): 1-10.
- Lam, F., J. D. Barrett and S. Nakajima. 2004. Influence of knot area ratio based grading rules on the engineering properties of Hem-fir used in Japanese post and beam housing. *Wood Science and Technology* 38(2):83-92.
- Lam, F., J. D. Barrett and S. Nakajima. 2005. Influence of knot area ratio on the bending strength of Canadian Douglas fir timber used in Japanese post and beam housing. *Journal of Wood Science* 51(1):18-25.
- Madsen, B. 1992. Structural behavior of timber. Timber Engineering Ltd. Vancouver, BC, Canada. 434 p.

values of design efforts should be changed, it will be necessary to include the place of knots in the cross-cutting section in the analysis and the impact that other defects have upon strength and rigidity of pine wood for structural use.

To complement the selection criterion and to make it more efficient, it is necessary to take into account the place of the knots in the in the cross-cutting section as it is evident that it has an effect upon the strength for the linear distribution of bending efforts.

The rules of classification to be defines must consider too other defects such as cracks, resin sacs, insect attack, etc. 

ACKNOWLEDGEMENTS

To the International Development Research Center (IDRC) of Ottawa, Canada, for sponsoring the original research study (Project Number 3-P-78-0065. To M. I. Reyna Paula Zárate Morales for her help in data entry and part of the required equations in addition to the edition of some of the figures. To Dra. Guadalupe M. Bárcenas Pazos for her valuable suggestions and reviewing this paper.

End of the English version

- Ordóñez C., V. R. y R. Dávalos-Sotelo. 1996. Ajuste de las propiedades mecánicas de la madera estructural por cambios del contenido de humedad. *Madera y Bosques* 2(2):43-51.
- Sotomayor C., J. R. 2003. Caracterización mecánica de madera reconstituida: módulo de elasticidad de tableros de partículas de madera evaluado con métodos no destructivos. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 5(1): 20-43.
- Sotomayor C., J. R. y J. M. Villaseñor A. 2006. Comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis* sp. *Madera y Bosques* 12(2):3-15.
- Sotomayor C., J. R. y S. Bocanegra O. 2009. Velocidad del ultrasonido en la madera de *Picea* sp. y *Acer* sp. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 5(2): 17-26.



Leonardo Atilano Ponce (2012). Corteza, Paso de Cortés.