

USO DE LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA Y VISUAL PARA PREDECIR LA ZONA DE RUPTURA DE LA MADERA SOMETIDA A COMPRESION

Alberto Campos Barker (*)

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar la exactitud de la clasificación estructural mecánica y de la clasificación estructural visual para predecir la zona de ruptura de una pieza de madera sometida a compresión.

Usando parámetros relacionados con la clasificación estructural mecánica se obtuvo un 42% de exactitud en la predicción de la zona de ruptura, usando parámetros relacionados con la clasificación estructural visual se obtuvo un 56% de exactitud.

Sin embargo, la exactitud aumentó a un 68% cuando se consideraron ambos parámetros a la vez. Esto demostró que para lograr en la práctica un eficiente proceso de clasificación ambos sistemas deben ser aplicados en línea en un aserradero.

ABSTRACT

A study to determine the compressive failure zone was carried out, machine stress grading and visual grading criteria were used as predictor parameters.

Pieces failed 42% of the time in the weakest zones indicated by machine stress grading criteria and 56% of the time in zones indicated by visual grading criteria. However, 68% of accuracy in the prediction of the weakest zone was obtained when both visual and mechanical parameters were combined. This increase shows that to obtain an efficient grading process, visual override must be performed in the sawmills.

(*) Ingeniero Civil, División Industrias, Instituto Forestal. Huérfanos 554, Casilla 3085, Santiago
Candidato a Master Of Science, Department of Forest Engineering, University of New Brunswick
P.O. Box 4400, Fredericton, New Brunswick, Canadá E3B 5A3

INTRODUCCION

Grandes progresos se han realizado en este siglo para transformar a la madera de un material practicamente artesanal en un material de uso ingenieril. Mejores técnicas de manejo forestal, mejores procesos de aserrío, eficientes métodos de secado y un adecuado proceso de clasificación estructural, han hecho posible que hoy sea considerada en muchos países un confiable material de construcción (Madsen 1990).

Uno de los grandes pasos dados hacia la uniformidad de la calidad de la madera es la clasificación estructural, la cual agrupa a piezas con características similares bajo un grupo común. Esto permite separar calidades y por ende reducir notablemente la variabilidad en las propiedades de la madera.

En la actualidad existen dos procesos de clasificación estructural: visual y mecánica (NLGA 1987). El primero se basa en la inspección visual de la pieza por parte de personal especializado, el cual la clasifica de acuerdo a sus características visibles: nudos, arqueadura, desviación de la fibra, etc. El segundo, clasificación estructural mecánica, se basa en la estimación de la rigidez o módulo de elasticidad (MOE) de la madera a través del cual se predice su resistencia, usando relaciones entre rigidez y resistencia determinadas en investigaciones (Logan 1990). Estas relaciones permiten, conociendo la rigidez de la madera, obtener sus tensiones de flexión, tracción y compresión (Fewell 1984).

El grado que se le asigna a cada pieza después de ser clasificada mecánicamente es el correspondiente a su sección más débil, ya que se asume que la pieza fallará en dicha sección. Por lo tanto un buen sistema de clasificación deberá predecir con exactitud la zona de falla de la madera.

El presente estudio se orientó a comparar la frecuencia con la cual la clasificación estructural visual y mecánica predicen la zona de ruptura de la madera al ser sometida a un esfuerzo de compresión paralelo a la fibra.

Para ello se clasificaron estructuralmente 50 piezas de red pine (*Pinus resinosa* Ait.) proveniente del noreste canadiense. A éstas se les marcó el Mínimo Módulo de Elasticidad (MINMOE) medido por la máquina de clasificación estructural y se les calculó además la Máxima Razón de Area Nudosa (RAN) estimada visualmente por el autor. RAN es el cociente entre la superficie de sección transversal ocupada por un nudo y el área de esa sección transversal. Posteriormente las piezas fueron ensayadas en

compresión paralela a la fibra a objeto de determinar si la falla se producía en la sección del MINMOE, en la de mayor RAN o en otra zona. Además se determinaron mediciones complementarias de MOE longitudinal mediante el uso de transmisión de ondas longitudinales a través de la madera.

MATERIAL Y METODO

El material utilizado fueron cincuenta piezas de red pine (**Pinus resinosa Ait.**) proveniente de noreste del Canadá con dimensiones de 38 x 89 x 3.600 mm. La madera se obtuvo de un bosque de cincuenta años y fue aserrada especialmente para este estudio. El material fue secado mediante un proceso de deshumidificación hasta llegar a un contenido de humedad promedio de 14% y previo a la clasificación mecánica la madera fue estacionada por tres meses en una sala de acondicionamiento a fin de uniformar el contenido de humedad de las piezas.

Las características visuales de cada pieza fueron registradas en una hoja de datos. Se registraron: tamaño y ubicación de nudos, presencia de bolsillos de resina, presencia de médula, pudrición, velocidad de crecimiento y dimensiones finales de las piezas.

Cinco etapas se realizaron para determinar diferentes propiedades en las piezas estudiadas, éstas fueron:

Determinación de la desviación de la fibra

Determinación del RAN máximo

Clasificación estructural mecánica

Medición del MOE dinámico longitudinal

Determinación del esfuerzo máximo en compresión paralela

Determinación de la desviación de la fibra

Para medir la desviación de la fibra se utilizó el “slope-of-grain indicator” perteneciente a la Universidad de Laval en Quebec (Samson 1988). Este “slope-of-grain indicator” es un dispositivo óptico que se basa en el principio de que la constante dieléctrica en la madera es 50% mayor en la dirección de la fibra que perpendicular a ella.

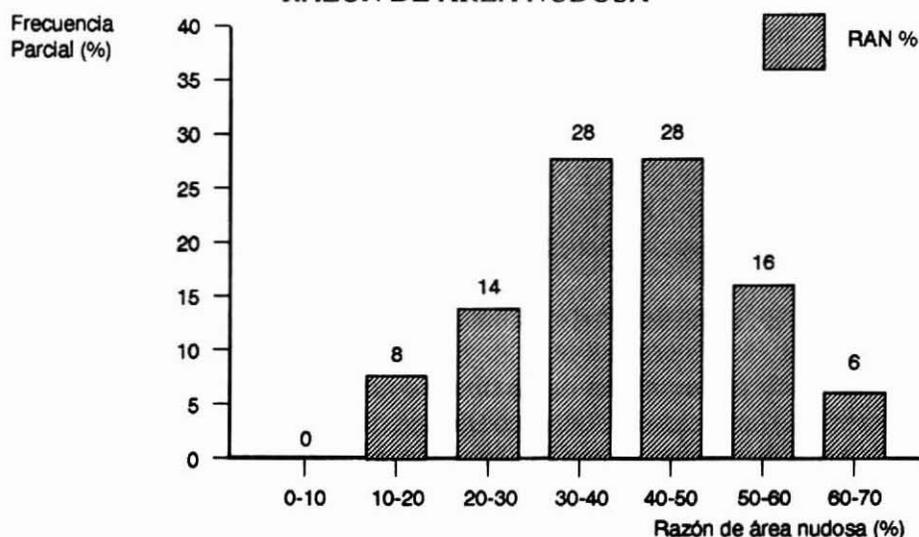
Por lo tanto las mediciones de esta diferencia indicarán la desviación de la fibra en la pieza medida.

Debido a razones de carácter práctico no se enviaron todas las piezas a Quebec, sino sólo aquellas que presentaban mayor desviación de la fibra. Los resultados indicaron que todas estas piezas cumplían con las especificaciones, en lo que a desviación de la fibra respecta, de la National Lumber Grading Association (1987) para ser incluidas dentro de la clase estructural selecta, es decir la desviación máxima era inferior a 4.76 grados (1 en 12). Debido a este resultado y a observaciones hechas por Wilson (1921), quien observó que para desviaciones de fibra de hasta 1 en 10 la tensión de compresión se reducía sólo en un uno por ciento, y por Zhou (1989) quien encontró similares resultados para flexión estática, se decidió que la influencia de la desviación de la fibra en la tensión de compresión sería despreciable frente a otros parámetros.

Determinación de la máxima razón de área nudosa

Razón de área nudosa (RAN) es el cociente entre la suma de las áreas proyectadas sobre la sección transversal de todos los nudos comprendidos en una longitud igual al ancho de la pieza y el área de la sección transversal de dicha pieza. La influencia de los nudos en la tensión de compresión fue evaluada usando la RAN. La figura 1 muestra la distribución de RAN para las cincuenta piezas ensayadas.

Figura 1
RAZON DE AREA NUDOSA

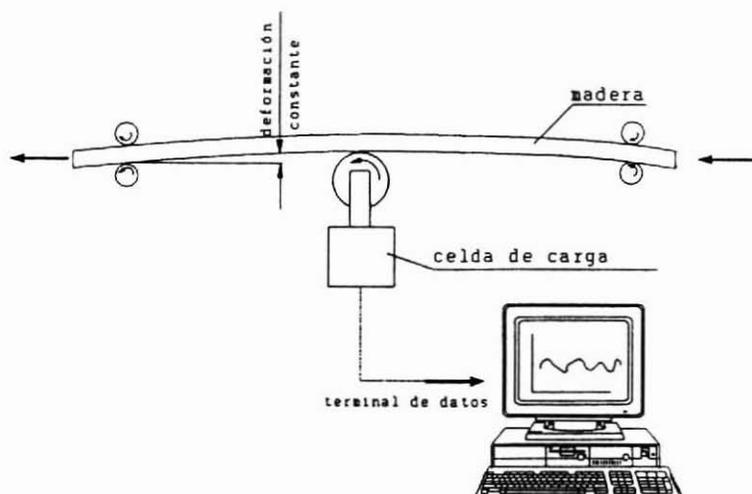


Clasificación estructural mecánica

La máquina de clasificación estructural utilizada en este estudio fue el modelo SG-AF 100 fabricado por Techmac, Inglaterra. Cada pieza de madera fue ensayada en la máquina flectando el menor eje de inercia de la pieza 7,1 mm sobre una luz de 900 mm las lecturas se obtuvieron a intervalos de 100 mm consecutivamente.

Para eliminar el efecto de torcedura y arqueadura, luego de la primera pasada por la máquina cada pieza fue pasada nuevamente después de haber sido rotada en 180 grados respecto a su eje longitudinal. Las lecturas obtenidas de ambas pasadas fueron promediadas para obtener la distribución del MOE aparente a lo largo de la pieza ensayada. El valor final del MOE asignado a cada pieza (MINMOE) correspondió al mínimo de dichos promedios parciales obtenidos a lo largo de la pieza. La figura 2 muestra un diagrama de la operación de la máquina de clasificación estructural SG-AF 100.

Figura 2
DIAGRAMA DE SG-AF 100

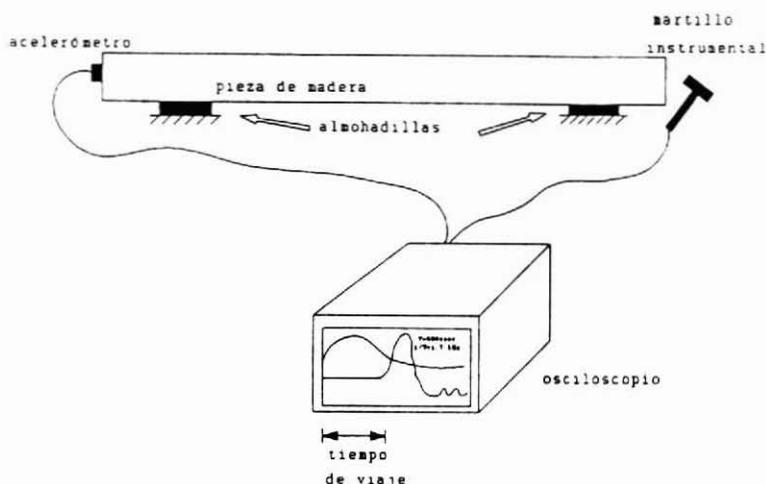


Determinación del MOE dinámico longitudinal

Para realizar la medición del módulo de elasticidad dinámico longitudinal de la madera se utilizó un osciloscopio para determinar el tiempo de viaje de las ondas entre uno y otro extremo de las piezas. A este osciloscopio se conectó un martillo instrumental y un acelerómetro, con el martillo se introdujo la señal al impactar la pieza en un extremo y esa señal fue recibida por el acelerómetro en el otro extremo. El osciloscopio registra

ambos impulsos, por lo tanto de la diferencia de tiempo de ellos, se deduce el tiempo de viaje de las ondas, valor con el que se obtiene el módulo de elasticidad de las piezas (Campos 1990). Para realizar este ensayo, las piezas de madera fueron aisladas del medio externo mediante el uso de dos almohadillas de goma, las cuales aseguran que las ondas viajarán longitudinalmente a través de la madera. La figura 3 muestra un esquema del ensayo.

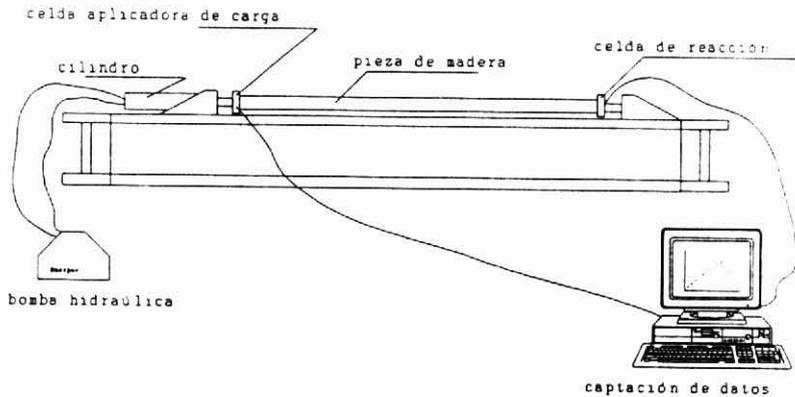
Figura 3
MEDICION DEL MOE LONGITUDINAL



Determinación del esfuerzo máximo en compresión paralela

Las dimensiones de las piezas ensayadas fueron 38 x 89 x 3600 mm a un contenido de humedad promedio de 14%. Los ensayos de compresión se realizaron en una máquina construida por el Wood Science and Technology Centre de la University of New Brunswick, Canadá. Esta máquina cumple las especificaciones entregadas en la cláusula 25.3 de la norma ASTM D198-84. Mayores especificaciones de esta máquina de ensayo se entregan en Campos (1990). La figura 4 muestra un esquema del ensayo de compresión paralela a la fibra.

Figura 4
ENSAYO DE COMPRESION PARALELA



RESULTADOS Y DISCUSION

En la figura 5 se indica la distribución de frecuencia acumulada del MINMOE obtenida al clasificar las piezas usando la máquina de clasificación estructural; esta curva ha sido ajustada mediante la distribución Weibull de dos parámetros (Weibull 1939a, 1939b.)

En la Tabla 1 se entregan los valores correspondientes a los percentiles del 5, 15, 25, y 50% obtenidos usando la distribución mencionada.

Figura 5
DISTRIBUCION DEL MINMOE DE LAS PIEZAS

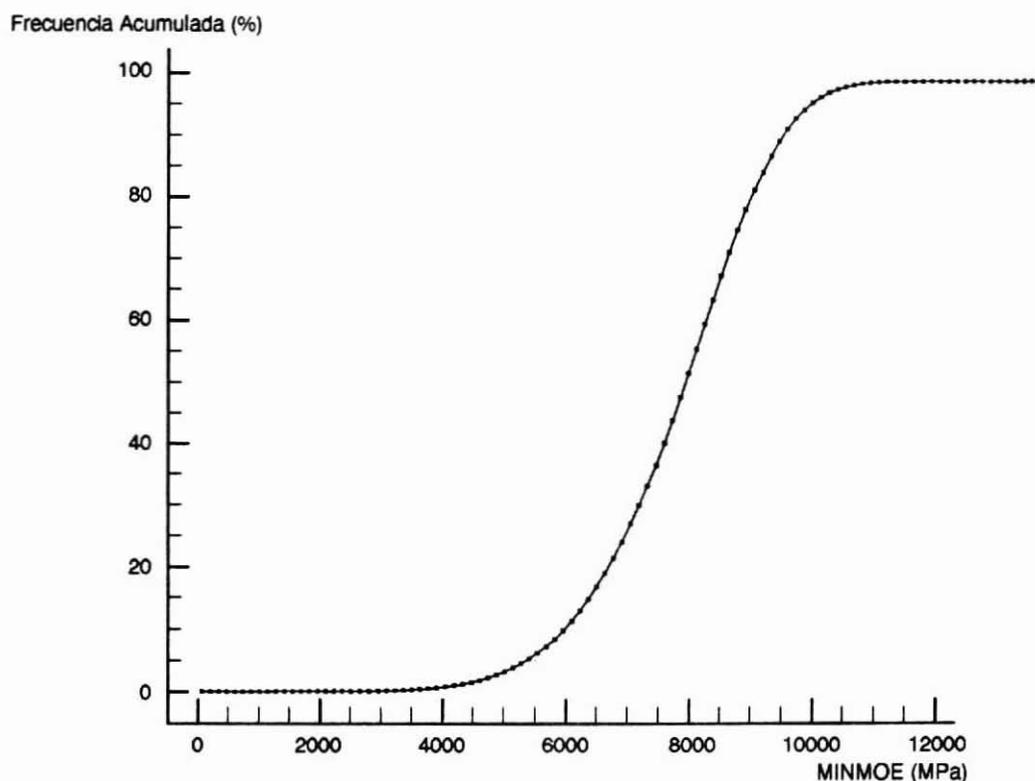


Tabla 1
VALORES CRITICOS DEL MINMOE

PERCENTIL	MOE (MPa)
50%	6887
25%	6021
15%	5518
5%	4626

En la figura 6 se indica la distribución de frecuencia acumulada obtenida del ensayo de compresión paralela. Esta curva ha sido ajustada usando la distribución Weibull de dos parámetros referida anteriormente.

En la Tabla 2 se entregan los valores correspondientes a los percentiles del 5, 15, 25 y 50% calculados usando la distribución de Weibull.

Figura 6
ESFUERZO MAXIMO DE COMPRESION PARALELA

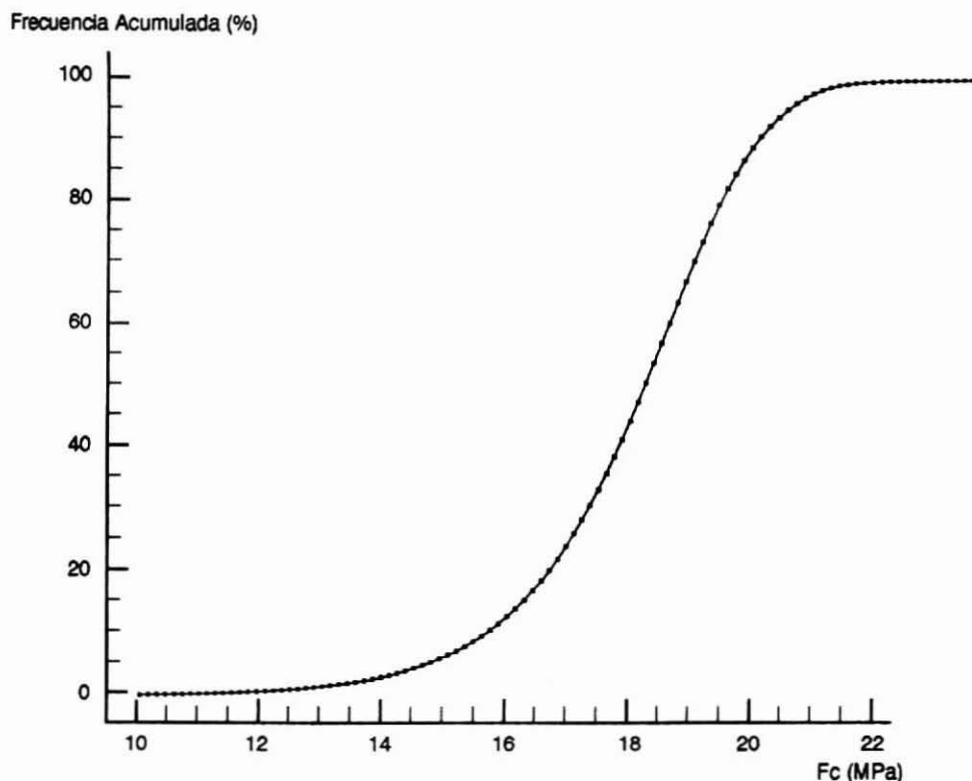


Tabla 2
VALORES CRITICOS DEL ESFUERZO MAXIMO DE
COMPRESION PARALELA (Fc)

PERCENTIL	Fc (MPa)
50%	18.5
25%	17.2
15%	16.5
5%	15.0

Diversas correlaciones se realizaron entre los parámetros medidos en el estudio y el esfuerzo máximo de compresión paralela de la pieza (Fc), a través de ellas se pudo medir la correlación existente entre Fc y módulo de elasticidad, siendo este último medido por la máquina de clasificación (MINMOE) o mediante el uso de técnicas de vibración longitudinal (SWMOE). La tabla 3 entrega las ecuaciones y coeficientes de correlación (r) respectivos.

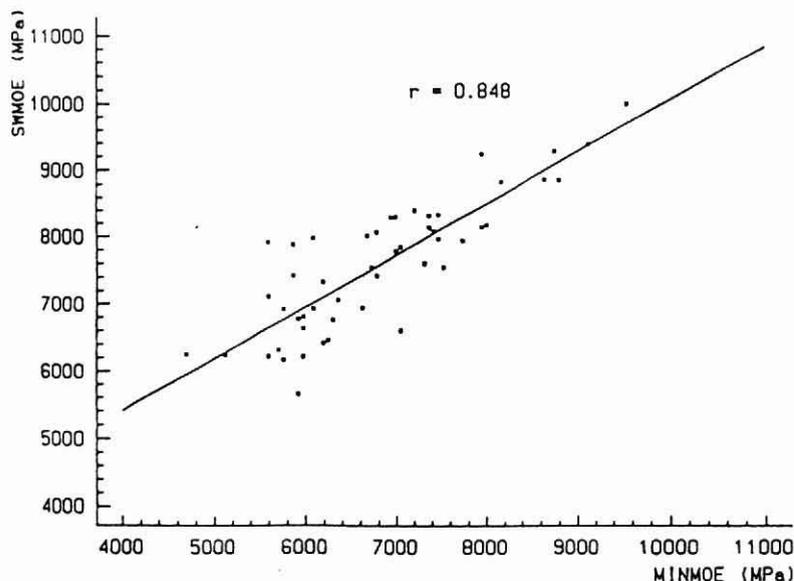
Tabla 3
CORRELACIONES ENTRE Fc Y RIGIDEZ

ECUACION	r
$Fc = 20.1 - 4.5 \times 10^{-2} \times RAN$	-0.34
$Fc = 12.8 + 8.1 \times 10^{-4} \times MINMOE$	0.52
$Fc = 11.4 + 9.1 \times 10^{-4} \times SWMOE$	0.53

En la tabla 3 se puede observar que en este estudio se obtuvo similar correlación entre Fc y SWMOE que entre Fc y MINMOE, lo que sugiere la posibilidad de desarrollar un sistema alternativo de clasificación estructural en el uso de la transmisión de ondas. Esta proposición confirma los estudios realizados por Jayne (1959), Pellerin (1965), Miller et al (1967) y Gerhards (1982) entre otros; sin embargo problemas aún sin resolver tales como la velocidad de clasificación evitan el ingreso masivo de esta tecnología a la industria forestal.

Como se deduce de la tabla 3 existe una buena correlación entre SWMOE y MINMOE ($r = 0.848$). La figura 7 muestra la buena concordancia existente entre ambos parámetros.

Figura 7
CORRELACION MINMOE vs SWMOE



Luego de cada ensayo de compresión paralela se observó si la pieza había fallado en el punto más débil medido por la máquina de clasificación (MINMOE), en el mayor RAN, o en otro lugar fuera de estos dos. La tabla 4 entrega estos valores. Es conveniente establecer que en varias oportunidades la posición del MINMOE y del máximo RAN coincidieron.

Tabla 4
UBICACION DEL PUNTO DE FALLA

FALLA EN ...	FRECUENCIA (%)
Máximo RAN	56
MINMOE	42
Otro lugar	32
Máximo RAN o MINMOE	68

En la tabla 4 se observa que la máquina determinó con exactitud el punto de falla en un 42% de las piezas, el criterio del máximo RAN lo hizo en un 56% y un 32% de las veces las piezas fallaron en lugares no esperados. Si ahora se asume que la pieza fallará en la posición del máximo RAN o en del MINMOE, el porcentaje de exactitud en la predicción del punto de falla sube a un 68%. Este considerable aumento confirma la necesidad de realizar, posterior a la clasificación mecánica, una clasificación visual que permita detectar aquellos defectos que no han sido detectados por la máquina de clasificación estructural.

CONCLUSIONES

El estudio indicó la existencia de una buena correlación entre F_c y MINMOE, al igual que entre F_c y SWMOE.

El máximo RAN demostró ser el parámetro **individual** más eficiente (56%) en la predicción del punto de falla de una pieza en compresión. Sin embargo si se consideran dos parámetros (**MINMOE y RAN**) la exactitud de predicción sube a un 68%.

El estudio confirmó la importancia del uso de un sistema de clasificación visual posterior a la clasificación estructural mecánica realizada por la máquina.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del **International Development Research Centre**, Ottawa, Canadá y fue llevado a cabo en el **Wood Science and Technology Centre** de la **University of New Brunswick**, Canadá. El autor agradece sinceramente el apoyo recibido de ambas instituciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1990.** Statics tests of timbers in structural sizes. ASTM D198-84 Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, Pa.
- Campos, A. 1990.** Compressive strength of softwood lumber loaded parallel to grain. IUFRO Timber Engineering Group S5.02 Meeting, Saint John, N. B., July / August 1990.
- Fewell, A. R. 1984.** Timber stress grading machines. Building Research Establishment Information Paper N° 17 / 84, Watford, England.
- Gerhards, C.C. 1982.** Longitudinal stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: state of the art. Forest Products Journal 32 (2) : 20-25.
- Jayne, B.A. 1959.** Vibrational properties of wood as indices of quality. Forest Products Journal 9(11) : 411-416.
- Lam, F. and Varoglu, E. 1990.** Length effect on the performance of lumber in tension. Canadian Journal of Civil Engineering, 17 (10) : 911-918.
- Logan, J.D. 1990.** Getting started with machine stress rating. Paper presented to Sawmill Technology for the 1990's. Forintek Canada Corporation, Sault Ste Marie, Ontario.
- Madsen, B. 1990.** Length effect in 38 mm spruce-pine-fir dimension lumber. Canadian Journal of Civil Engineering, 17(2) : 226-237.
- Miller, D.G. and Tardif, Y. 1967.** Development of a vibration grader and comparison of vibration grading with visual and mechanical grading. Forestry Branch, Dept. of Forestry and Rural Development, Departmental Publication N° 1208.
- National Lumber Grades Authority (NLGA) 1987.** Standard Grading Rules for Canadian Lumber. Vancouver, B.C.
- Pellerin, R.F. 1965.** A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. Forest Product Journal 15 (3) : 93-101.
- Samson, M, 1988.** Transverse scanning for automatic detection of general slope of grain in lumber. Forest Products Journal 38 (7 / 8): 33-38.

Samson, M. 1989. Status of machine stress-rating of lumber 25 years after commercial implementation. *Forest products Journal* 39 (11 / 12): 49-52.

Weibull, W. 1939a. A statistical theory of the strength of materials. Royal Swedish Institute for Engineering Research, Proceedings N° 141, 45p.

Weibull, W. 1939b. The phenomenon of rupture in solids. Royal Swedish Institute for Engineering Research, Proceeding N° 153, 55p.

Wilson, T.R. 1921. The effect of spiral grain on the strength of wood. *Journal of Forestry*, Vol. XIX, N° 7, November 1921: 740-747.

Zhou, H. 1989. The influences of drying, knots and slope of grain on bending properties of white spruce. MSc. FE thesis, Department of Forest Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B.