

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA DESTINADA A MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL

Alberto Campos Barker(*)

RESUMEN

La clasificación estructural mecánica de madera aserrada es una moderna tecnología en nuestro país cuya aplicación permitiría importantes avances en el área de la madera laminada. Esta tecnología se basa en la calificación de láminas en diferentes grupos, que dependen del valor del módulo de elasticidad, obtenido en las láminas. Este se determina en un ensayo no destructivo que se realiza a cada pieza destinada a la fabricación de láminas.

El trabajo que aquí se presenta, es el resultado de un proyecto de investigación realizado por la División Industrias del Instituto Forestal, que se orientó a dos aspectos principales; primero, determinar cuantitativamente los límites de cada grado de calidad y segundo, comparar la resistencia de vigas de madera laminada fabricadas con láminas sin clasificar, con la de vigas fabricadas con láminas clasificadas, ya sea con un solo grado en la sección transversal o con una combinación de diferentes grados.

Como resultado se obtuvieron tres grados de calidad, que permitieren abarcar todo el rango de resistencia de la lámina. El estudio demuestra que al combinar adecuadamente estos grados de calidad es posible obtener un mejor aprovechamiento del recurso, al permitir la disminución de las secciones transversales de los elementos laminados y con ello abaratar los costos globales.

ABSTRACT

Machine stress rating of lumber is a modern technology that could be used in our country allowing for important advances in the area of gluelaminated timber.

This technology considers the grading of laminations into different lumber grades, according to their modulus of elasticity values, which are obtained by non-destructive tests of all the pieces that will be used in the fabrication process.

The work shown here, is the result of an investigation project undertaken by the Forestry Institute through its Industries División, which aimed at two main aspects: first to quantify the limit values for each grade and second, to compare the strength values obtained with gluelaminated beams fabricated with ungraded laminations versus beams fabricated with graded laminations that considered only one grade type through its cross section or a combination of different grade types.

As a result, three quality grades were established covering all the strength ranges of the laminations. The study demonstrates that when an adequate combination of quality grades is used, it is possible to decrease the timber requirement by allowing the use of smaller cross sections in the glue laminated elements and thus, lowering the overall costs.

(*) Ingeniero Civil, Instituto Forestal

1. INTRODUCCION

La madera laminada resulta de la unión de tablas cortas y delgadas a través de sus cantos, caras y extremos, de manera tal de formar elementos no limitados en escuadría ni en longitud, en los cuales las fibras de las piezas que lo conforman son paralelas al eje del elemento.

Debido a que la madera laminada se fabrica en base a madera aserrada, no se encuentra ajena a los avances tecnológicos de esta última; es así como adoptando los criterios de clasificación estructural mecánica de madera aserrada, se planteó la alternativa de realizar esta clasificación en madera destinada a estructuras laminadas. De esta forma se podría conocer con mayor exactitud las propiedades físico-mecánicas de la madera laminada de Pino radiata y por ende obtener una mayor confiabilidad en el diseño de estructuras.

Para llevar a cabo lo anterior se ensayaron 80 vigas laminadas de Pino radiata de 5 x 20 x 600 cm de longitud. Esta cantidad incluyó vigas fabricadas con madera sin clasificación, vigas conformadas sólo con láminas clasificadas en un determinado grado y vigas fabricadas combinando láminas de distintos grados de calidad. Los resultados de estos ensayos permitieron demostrar la incidencia de la actividad de clasificación sobre la resistencia de las vigas de madera laminada encolada.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

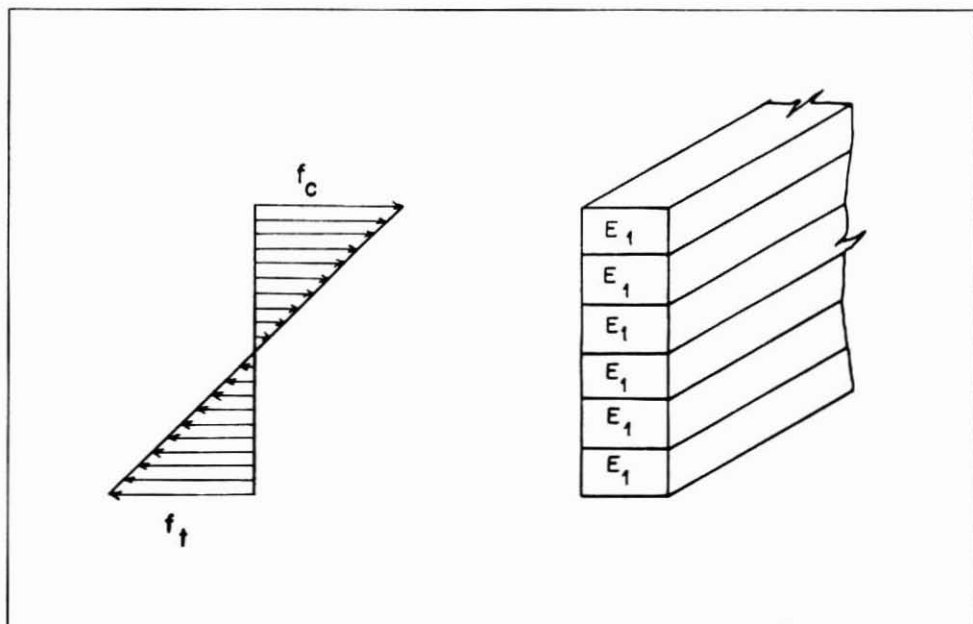
- Determinar valores de resistencia de vigas de madera laminada de Pino radiata, fabricadas con madera aserrada clasificada estructuralmente.
- Optimizar el diseño de la madera laminada de acuerdo a las propiedades mecánicas de las láminas que la conforman.
- Determinar las tensiones admisibles de la madera laminada fabricada, combinando piezas de madera aserrada de diferentes calidades estructurales.
- Comparar las propiedades mecánicas de vigas fabricadas con láminas no clasificadas y vigas fabricadas con láminas clasificadas estructuralmente mediante un proceso mecánico, a fin de demostrar los beneficios de la clasificación estructural en elementos de madera.
- Desarrollar una combinación de láminas de diferentes grados, que permita obtener altos valores de tensiones admisibles utilizando láminas de calidad inferior en las zonas de menor esfuerzo.

3. METODOLOGIA

3.1 Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo se inició con una revisión del comportamiento estructural de una pieza de madera laminada sometida a flexión, fabricada con láminas sin clasificación previa. La Figura N° 1 ilustra el diagrama de esfuerzos internos de esta pieza. Se puede apreciar que esta metodología de fabricación lleva a un sobredimensionamiento, ya que mientras los esfuerzos internos disminuyen en la cercanía del eje neutro de la pieza, no disminuyen proporcionalmente las propiedades mecánicas de las láminas que la conforman.

FIGURA N° 1.

VIGA FABRICADA CON UN GRADO UNICO E_1 

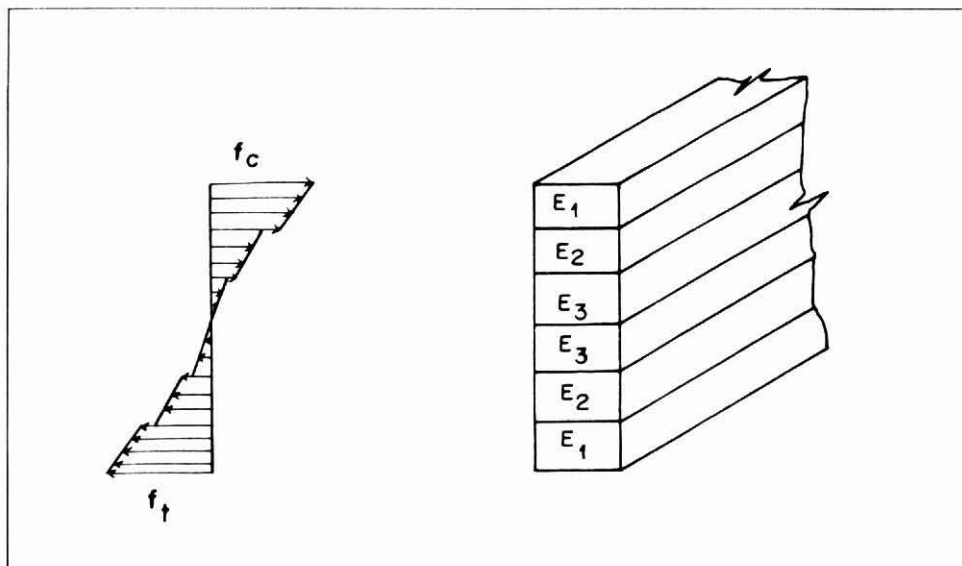
De acuerdo a lo anterior se plantearon dos posibilidades para optimizar el uso del material:

La primera, era disminuir la sección transversal de la viga para compensar la disminución de esfuerzos internos. Esta metodología lleva al diseño de elementos estructurales tipo “doble te”, similares a los utilizados en acero o en hormigón armado.

La segunda, era combinar calidades diferentes de láminas en la sección transversal, lo que se pudo hacer fácilmente mediante una clasificación estructural mecánica, llegando de esta manera a un diagrama de tensiones internas similar al indicado en la Figura N° 2.

FIGURA N° 2.

VIGA FABRICADA CON 3 DIFERENTES GRADOS DONDE $E_1 > E_2 > E_3$.



3.2 Clasificación de las Láminas

La clasificación de las láminas se realizó mediante el Modulo de Elasticidad en flexión (E_f), en consecuencia el primer paso a realizar fue la determinación del E_f . Para ello se aplicaron dos cargas iguales P1 a 1/3 de la luz de cada pieza, a continuación se aplicó un incremento de carga hasta llegar a P2. El esquema de carga es el indicado en la Figura N° 3 y el valor de ambas cargas se indica en la Tabla N° 1.

FIGURA Nº 3.

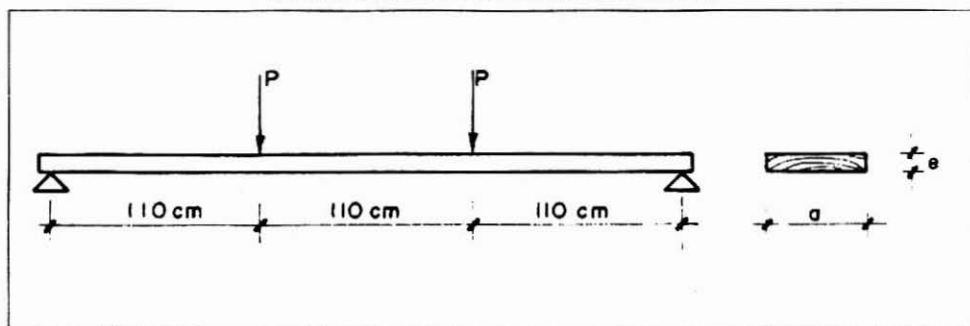
ESQUEMA DE CARGAS PARA DETERMINAR E_f EN
CADA PIEZA DE MADERA ASERRADA.

TABLA Nº 1

VALOR DE LAS CARGAS APLICADAS

Estado de Carga	P (Kg)	Deformación (d)
1	5,525	d_1
2	11,452	d_2

Para ambos estados de carga se midieron las correspondientes deformaciones. Este procedimiento se realizó en 584 piezas de 38 x 12,5 mm x 3,6 mts. nominales, aplicando las cargas en ambas caras de la pieza.

Con las deformaciones anteriormente determinadas y conociendo la magnitud de las cargas y las propiedades geométricas de las piezas, se determinó el E_f para cada deformación y para cada cara cargada. Finalmente el E_f asignado fue el de menor valor entre los calculados para cada pieza.

De acuerdo a los E_f obtenidos se definieron tres grados de calidad, de manera tal que en cada uno de ellos quede un porcentaje representativo de la población. Los límites para los grados de calidad definidos son los indicados en la Tabla Nº 2

TABLA Nº 2

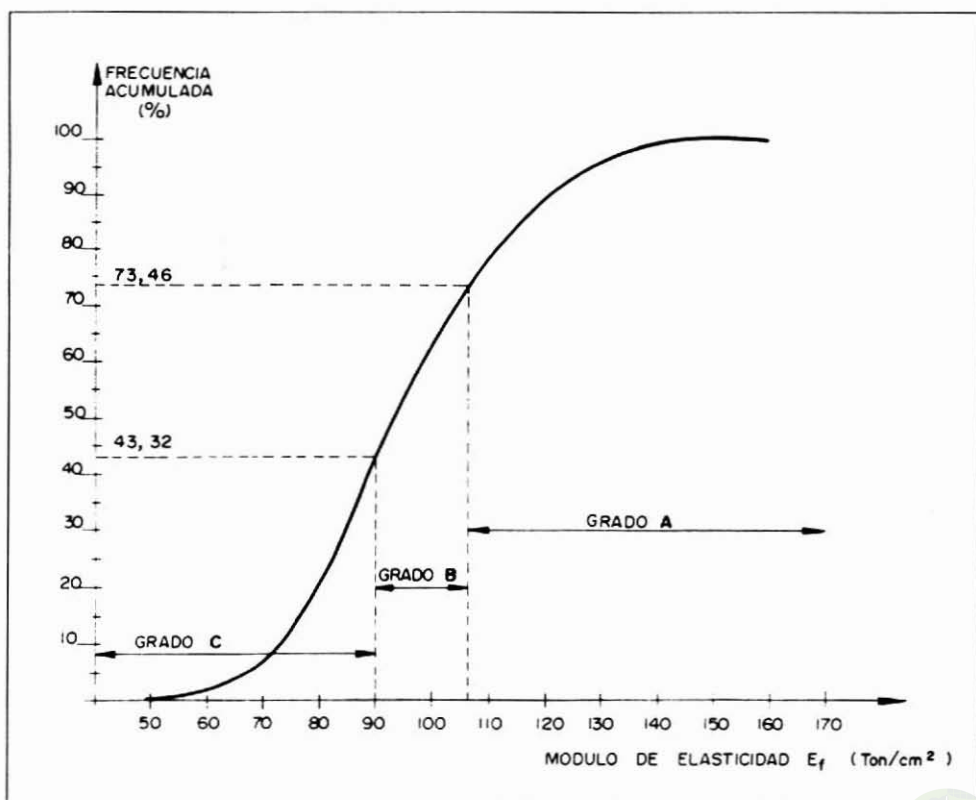
LIMITES DE E_f PARA CADA GRADO DEFINIDO

Grado	Módulo de Elasticidad (MPa)
A	$E_f \geq 10.600$
B	$10.600 > E_f \geq 9.000$
V	$9.000 > E_f \geq 4.000$

La curva de distribución acumulada en la cual se indican los grados definidos, es la señalada en la Figura Nº 4.

FIGURA Nº 4

DISTRIBUCION DE FRECUENCIA ACUMULADA DEL E_f



3.3 Tipos de Vigas Laminadas Fabricadas

Posterior al proceso de clasificación de las láminas se procedió a fabricar 7 diferentes grupos de vigas rectas de dimensiones 5 x 20 x 600 cm. Seis de estos grupos se fabricaron con láminas clasificadas estructuralmente y uno se fabricó con láminas sin clasificar, de manera de poder determinar la diferencia entre propiedades mecánicas de vigas fabricadas con láminas clasificadas y las de vigas fabricadas con láminas sin clasificar.

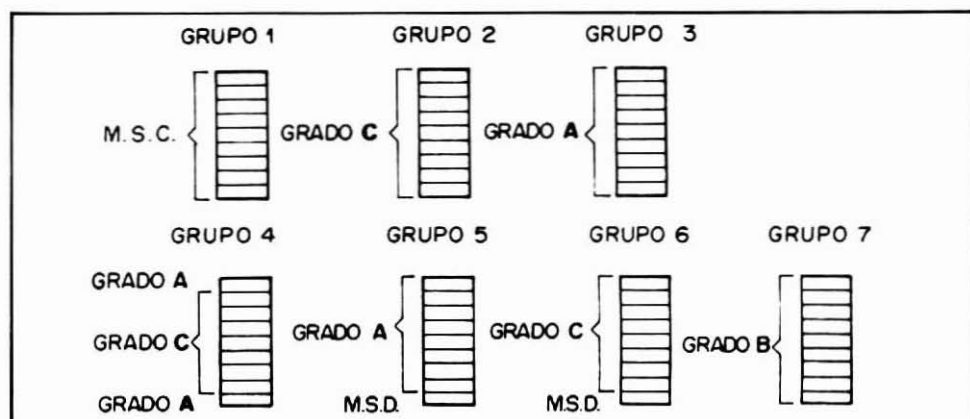
Un diagrama de las secciones transversales de cada grupo se indica en la Figura N° 5.

Se fabricaron 20 vigas del grupo 1 y 10 vigas de cada uno de los otros grupos, es decir en total 80 vigas rectas.

La madera sin defectos (M.S.D.), se obtuvo mediante uniones del tipo finger-joint.

FIGURA N° 5

TIPOS DE VIGAS LAMINADAS FABRICADAS



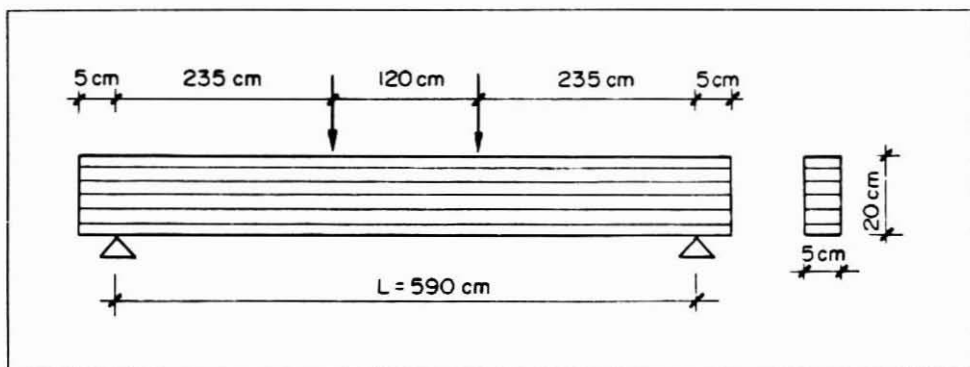
El proceso de fabricación fue similar para todos los grupos y las características principales de éste son las que se indican a continuación:

Adhesivo	:	Urea Formaldehído
Cont. de Humedad de la Madera	:	9,4% (promedio)
Cantidad de Adhesivo	:	600 gr/m ² de superficie a unir
Presión Aplicada	:	5 Kg/cm ²
Temperatura de Prensado	:	Ambiental
Tiempo de Prensado	:	8 horas
Tiempo de Maduración	:	3 días
Tiempo de Terminación	:	Cepillado en las cuatro caras
Tratamiento de la Madera	:	Ninguno

3.4 Ensayo de las Vigas Fabricadas

Las vigas fueron ensayadas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D 198. Se usaron dos puntos de carga y una luz de ensayo igual a 590 cm; las cargas se aplicaron a una distancia de 60 cm desde el eje de las vigas, es decir a 120 cm entre ellas, según se indica en el diagrama de carga de la Figura N° 6

FIGURA N° 6
DIAGRAMA DE CARGA DEL ENSAYO DE FLEXION



La relación luz/altura de las vigas es igual a 29,5 lo que asegura que la falla se producirá debido al esfuerzo de flexión. Para medir la deformación se instaló un dial ubicado en el eje neutro de la pieza y en el centro de la luz de ensayo.

Los parámetros que se midieron fueron el Módulo de Elasticidad (E_f) y el Módulo de Ruptura (R_f), los que se calcularon de la siguiente manera:

3.4.1 Cálculo del E_f

$$E_f = \frac{P \times a (3L^2 - 4a^2)}{24 \times I \times d}$$

en que:

- E_f = módulo de elasticidad en flexión, en Kg/cm².
- P = carga aplicada, en Kg.
- a = distancia desde la carga al apoyo, 235 cm.
- L = luz de ensayo, 590 cm.
- I = momento de inercia, en cm⁴.
- d = deformación en el centro de la luz, en cm.

3.4.2 Cálculo del R_f

$$R_f = \frac{M_{\max}}{W}$$

en que:








- R_f = módulo de ruptura, en Kg/cm².
 M_{\max} = momento flector máximo, en Kg. x cm.
 W = módulo resistente a la flexión, en cm³.

4. RESULTADOS

A partir de los módulos de ruptura de los ensayos a escala real, se obtuvieron las tensiones admisibles de la madera laminada fabricada con láminas sin clasificar (Grupo 1), y de la fabricada con láminas clasificadas estructuralmente (Grupos 2 al 7), el procedimiento seguido para la obtención de las tensiones admisibles es el indicado en ASTM D 2915 "Methods for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber". Los valores medios del módulo de elasticidad en flexión y de la tensión admisible de flexión para cada grupo, se entregan en la Tabla 3.

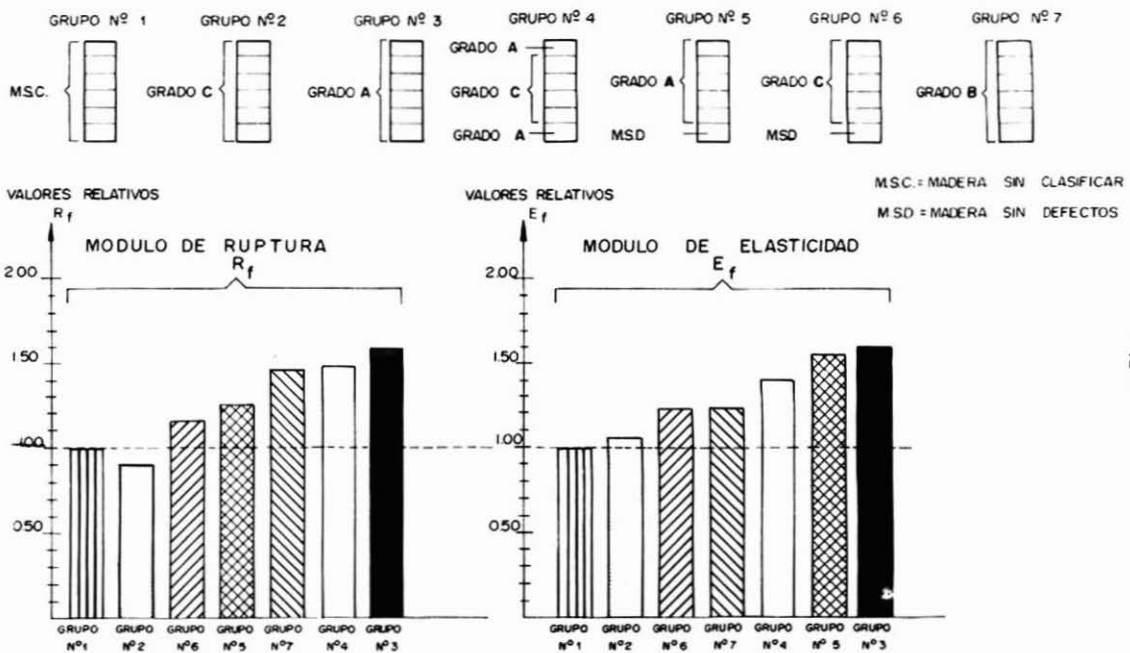
TABLA Nº 3

TENSIONES ADMISIBLES DE FLEXION Y E_t OBTENIDOS

Grupo Nº	Distribución de las Láminas	Tensión Admisible de Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad Medio en Flexión (MPa)
1	MSC 	8,73	8.003
2	GRADO C 	5,44	8.476
3	GRADO A 	14,7	12.792
4	GRADO A GRADO C GRADO A 	16,0	11.210
5	GRADO A M.S.C. 	8,70	12.457
6	GRADO C M.S.D. 	7,04	9,800
7	GRADO B 	12,6	9.904

Con la finalidad de simplificar la comparación entre las propiedades mecánicas de los siete grupos ensayados, se presenta en la Figura Nº 7 un histograma de barras en el que se han graficado los valores tomando como referencia al Grupo Nº 1, asignándole a él, el valor 1,00. Para los otros grupos se calculó la diferencia con el Grupo Nº 1, expresándola en forma porcentual.

FIGURA Nº 7

COMPARACION DE R_f Y E_f ENTRE GRUPOSFIGURA Nº 10. Comparación de R_f y E_f entre grupos.

5. CONCLUSIONES

5.1 De acuerdo a la Figura N° 7, se puede concluir que el uso de madera clasificada estructuralmente involucra una mayor resistencia y rigidez en los elementos de madera laminada.

5.2 Las vigas laminadas fabricadas con madera sin clasificar (Grupo N° 1), sólo son comparables con aquellas del Grupo N° 2, que corresponden al Grado C, es decir, el peor grado de calidad definido en este estudio.

5.3 De todos los grupos ensayados, sólo el fabricado con madera de la peor calidad obtuvo un módulo de ruptura 9% menor que el grupo fabricado con madera sin clasificar. Respecto a los otros grupos, se obtuvieron módulos de ruptura superiores hasta en un 60% en comparación con la madera sin clasificar.

5.4 En la determinación de los módulos de elasticidad, todos los grupos ensayados superaron los valores presentados por el Grupo N° 1.

5.5 El uso de madera clasificada estructuralmente en la fabricación de madera laminada, permite un aumento de las tensiones admisibles, debido a lo cual se podrán diseñar elementos estructurales que tengan una sección transversal menor.

5.6 El uso de una combinación de láminas Grado C y Grado A, permitirá al calculista adoptar altas tensiones de diseño y permitirá al fabricante hacer uso de una importante cantidad de madera de calidad inferior, que antes debía rechazar para cumplir con las exigencias de una sola calidad para todas las láminas.

5.7 Finalmente, es necesario recalcar que un simple proceso de clasificación estructural como el indicado en este trabajo, favorece a todos los sectores relacionados con la madera laminada. Al calculista le entrega tensiones admisibles mayores, al fabricante le minimiza el rechazo de madera, y al usuario le entrega una estructura fabricada en base a un producto más confiable y seguro.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. 1984 Standard Methods of Static Tests of Timber in Structural Sizes, D 198 Philadelphia, U.S.A.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. 1984 Standard Methods for Establishing Clear Wood Strength Values, D 2555-81 Philadelphia, U.S.A.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. 1984 Standard Method for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber, D 2915 Philadelphia, U.S.A.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. 1984 Standard Method for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber, D 3737-83a Philadelphia, U.S.A.
5. INSTITUTO FORESTAL. Informe Técnico N° 108. 1987 Clasificación Estructural del Pino radiata Destinado a Madera Laminada. Santiago, Chile.
6. USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCT LABORATORY. 1974 Design Criteria for Large Structural Glued Laminated Timber. Usign Mixed Species of Visually Graded Lumber. Research Paper F.P.L. N° 236 Madison, Wisconsin, U.S.A.
7. USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCT LABORATORY. 1977 Improved Utilization of Lumber in Glued Laminated Beams. Research Paper F.P.L. N° 292 Madison, Wisconsin, U.S.A.