C-1

0006148

INFORME TECNICO Nº 108

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DESTINADO A MADERA LAMINADA

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

INFOR

AF 87/17
SANTIAGO - CHILE
JUNIO - 1987

infor
instituto forestal

CORPORACION DE
FOMENTO DE LA PRODUCCION

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

INSTITUTO FORESTAL
División Industrias

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
Gerencia de Desarrollo

INFORME TECNICO 108

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DEL PINO RADIATA DESTINADO A MADERA LAMINADA

AF 87/17
SANTIAGO-CHILE
Junio, 1987

INFOR

PROPIEDAD INTELECTUAL : INSCRIPCION Nº 67.864

"Se autoriza la reproducción de la información que se entrega en este documento, siempre y cuando se cite como fuente a CORFO-INFOR"

PROLOGO

El presente estudio "Análisis Propiedades Físico-Mecánicas Madera Pino insigne para la Construcción. Segunda Parte: Clasificación Estructural del Pino insigne Destinado a Madera Laminada", fue realizada por la Gerencia de Desarrollo de la Corporación de Fomento de la Producción - CORFO, con la participación de la División Industrias del Instituto Forestal, filial CORFO.

El objetivo del presente informe es aportar antecedentes sobre el proceso de clasificación estructural de la madera de Pino insigne destinada a la fabricación de madera laminada encolada, incluyendo : información sobre el uso de esta tecnología en Estados Unidos y Canadá, la proposición de un tipo de clasificación para el Pino insigne y su aplicación a vigas rectas de madera laminada que fueron fabricadas y posteriormente ensayadas. Con los antecedentes del estudio se proponen documentos que pueden servir como base en la discusión de un eventual análisis y estudio de normas chilenas sobre esta materia.

La organización que se le ha dado al informe es la siguiente: en primer lugar se describen las características que influyen sobre la resistencia de un elemento de madera comparándolas con aquéllas que se deben considerar en la madera que se destina a la fabricación de laminados; luego se propone una clasificación estructural con tres grados la cual se aplica en la fabricación de elementos laminados rectos; posteriormente se describe el ensayo de estas vigas, se dan los resultados obtenidos y las conclusiones del estudio. Finalmente, en Anexos, se proponen Anteproyectos de Normas para clasificar madera destinada a laminación y para proceder con el diseño de elementos estructurales laminados.

Participó en la realización de este estudio el Jefe de la División Industrias del INFOR, Ingeniero Civil Sr. VICENTE A. PEREZ GA

INFOR

LAZ, el Ingeniero Civil Sr. Alberto Campos B., el Ingeniero de Ejecución en Madera Sr. Guido Retamal P., el Laboratorista Sr. Juan Ramírez A. y los Consultores: Ingeniero Civil Sr. Fernando Morales V., los Laboratoristas Sres. Alexis Spencer L., Ernesto Ramírez A. y Rodolfo Pérez P. La labor de Secretaría fue realizada por la Srta. Margarita Martínez S.

La dirección y coordinación del estudio por parte de CORFO estuvo a cargo del Ingeniero Forestal Sr. ROY W. WOTHERSPOON SCHRADER.

INFOR

RESUMEN

La madera laminada resulta de la unión (mediante adhesivo) de piezas de maderas cortas y delgadas, ensambladas por sus caras y extremos de modo tal que sus fibras queden paralelas al eje del elemento, sea éste recto o curvo. Este material ha tenido éxito en todos los países desarrollados y la tecnología de fabricación fue introducida en Chile por el Instituto Forestal en el año 1964.

En la actualidad su proceso de fabricación no contempla la actividad de clasificación de la madera aserrada que se destina a elementos laminados. El presente estudio analiza los criterios que se deben seguir en la clasificación estructural de madera a usar en laminados, los cuales difieren de aquéllos empleados en madera aserrada. Con dichos antecedentes se proponen tres grados de calidad basados en el módulo de elasticidad en flexión (E_f), obtenido en cada pieza, denominándolos: Grado A ($E_f \geqslant 10.600$ MPa), Grado B ($10.600 \text{ MPa} > E_f \geqslant 9.000$ MPa) y Grado C ($9.000 \text{ MPa} > E_f \geqslant 4.000$ MPa).

Con estos grados se fabricaron grupos de 10 vigas rectas entre los cuales cabe mencionar el de vigas constituidas con láminas conformadas con madera del Grado A, otro con madera del Grado C, y otros tres combinando láminas constituidas con los diferentes grados definidos. A lo anterior, se agregó un grupo de 20 vigas hechas con madera sin clasificar, representando con él la técnica que actualmente emplean las industrias que fabrican madera laminada.

Cada una de las 70 vigas se sometió a un ensayo de flexión con dos cargas aplicadas en el canto y ubicadas en los puntos tercios de la luz de ensayo. En cada viga se determinó el contenido de humedad, la densidad, el módulo de elasticidad en flexión y la tensión de ruptura.

INFOR

El análisis de la información obtenida permite establecer, entre las conclusiones más importantes, que la resistencia de las vigas laminadas fabricadas con madera sin clasificar son bajas y que sólo se comparan con aquéllas que se conforman con el peor grado de calidad definido (Grado C); que las vigas hechas con madera del Grado A tienen una resistencia 68% mayor que las vigas constituidas con madera sin clasificar y que entre los tipos de vigas que combinan láminas de diferente calidad, el más interesante resulta aquél en el cual se ubica una lámina del Grado A en el canto comprimido y otra en el canto traccionado colocándose en el centro, láminas del Grado C. La resistencia de este último tipo es un 83% mayor que la correspondiente a la madera sin clasificar debido, fundamentalmente, a la baja variabilidad de los resultados obtenidos en este tipo de viga.

Las conclusiones del estudio confirman la necesidad de clasificar la madera que se usa en la fabricación de madera laminada y para ello se proponen documentos básicos que permiten discutir la normalización de la clasificación propuesta, del método a seguir en la clasificación mecánica de la madera a usar en laminación y el diseño estructural de elementos laminados.

INFOR

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

INDICE

Página

1.0 INTRODUCCION 1

2.0 CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA PARA LAMINADOS 4

2.1 Necesidad de Clasificar Estructuralmente la madera ... 4

2.2 Características que Influyen sobre las Propiedades Resistentes de la Madera 5

2.2.1 Nudos 6
2.2.2 Desviación de la Fibra 7
2.2.3 Arista Faltante 8
2.2.4 Acebolladura, Grieta y Rajadura 8
2.2.5 Pudrición 9
2.2.6 Bolsillo 9
2.2.7 Alabeos 9
2.2.8 Mancha Azul 10
2.2.9 Velocidad de Crecimiento 10

2.3 Criterios a Seguir en la Clasificación de Piezas para Fabricar Madera Laminada 10

2.3.1 Nudos 11
2.3.2 Desviación de la Fibra 15
2.3.3 Arista Faltante 15
2.3.4 Acebolladura, Grietas y Rajaduras 16
2.3.5 Bolsillos 16
2.3.6 Alabeos 17
2.3.7 Perforación y Pudrición 17
2.3.8 Encolabilidad 17

2.4 Método Seguido en este Estudio para Definir la Clasificación de la Madera Destinada a Madera Laminada 18

INFOR

Página

2.4.1 Antecedentes 18
2.4.2 Descripción del Método 21

2.5 Clasificación Estructural Resultante 31

2.5.1 Para una Clasificación Mecánica 31
2.5.2 Para una Clasificación Visual 32

3.0 VIGAS LAMINADAS FABRICADAS 35

3.1 Tipos de Vigas 35
3.2 Materiales Usados 37
3.3 Fabricación de las Vigas Laminadas 37

4.0 ENSAYO DE LAS VIGAS FABRICADAS 38

4.1 Método de Ensayo 38
4.2 Resultados Obtenidos 40

5.0 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LAS VIGAS FABRICADAS 47

5.1 Ajuste de los Valores Experimentales Obtenidos 47

5.1.1 Ajuste del Módulo de Ruptura (R_f) 48
5.1.2 Ajuste del Módulo de Elasticidad (E_f) 48
5.1.3 Presentación de los Valores Experimentales Ajustados 48

5.2 Comparación entre los Resultados Obtenidos para los Diferentes Grupos de Vigas Fabricadas 51

INFOR

Página

5.2.1 Método Estadístico Usado en la Comparación .. 51

5.2.2 Vigas Laminadas Fabricadas con Madera sin Clasificar frente a Vigas hechas con Madera Clasificada 52

5.2.3 Comparación de los Grupos de Vigas Fabricadas con Madera Clasificada 55

6.0 TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD MEDIO PARA VIGAS DE MADERA LAMINADA SOMETIDAS A FLEXION 59

6.1 Procedimiento General 59

6.2 Procedimiento Usado 60

6.3 Valores Obtenidos para las Tensiones Admisibles y el Módulo Elástico Medio 61

6.4 Discusión de los Valores Obtenidos 63

7.0 CONCLUSIONES 66

7.1 Respecto al Uso de Madera Clasificada 66

7.2 Respecto a las Vigas Formadas con Madera Clasificada en el Grado C 68

7.3 Respecto a las Vigas Formadas con Madera Clasificada en el Grado A 69

7.4 Respecto a las Vigas Formadas Combinando Láminas del Grado A (en cantos) y del Grado C (en el centro) 70

7.5 Respecto a las Tensiones Admisibles y al Módulo de Elasticidad 70

8.0 RECOMENDACIONES 73

9.0 BIBLIOGRAFIA 75

INFOR

ANEXO A.

Clasificación Estructural Mecánica y Visual de Madera Aserrada de Pino Insigne Destinada a la Fabricación de Madera Laminada. Esquema Básico de Norma.

ANEXO B.

Método para Efectuar la Clasificación Estructural Mecánica de Piezas de Madera Aserrada Destinada a la Fabricación de Madera Laminada. Esquema Básico de Norma.

ANEXO C.

Antecedentes para el Diseño Estructural de Elementos Laminados de Pino insigne. Proposición a Presentar en el Comité del INN que Estudia Norma NCh 1198.

INFOR

INDICE DE FIGURAS

		Página
FIGURA Nº 1.	Medida de la desviación de la fibra	7
FIGURA Nº 2.	Viga sometida a flexión	11
FIGURA Nº 3.	Relación entre módulo de ruptura (R_f) y módulo de elasticidad (E_f)	20
FIGURA Nº 4.	Distribución de las cargas para ensayo destinado a clasificar láminas	22
FIGURA Nº 5.	Distribución de frecuencias del módulo de elasticidad en flexión de las piezas	25
FIGURA Nº 6.	Distribución de frecuencias acumuladas del módulo de elasticidad en flexión de las piezas	26
FIGURA Nº 7.	Frecuencia de la desviación de la fibra en los diferentes grados	28
FIGURA Nº 8.	Frecuencia de los nudos en los diferentes grados	29
FIGURA Nº 9.	Frecuencia de la velocidad de crecimiento en los diferentes grados	29
FIGURA Nº 10.	Distribución de las láminas en los diferentes grupos de vigas definidos	36

INFOR

Página

FIGURA Nº 11. Diagrama de carga de ensayo de flexión 39

FIGURA Nº 12. Pendientes de recta carga (P) versus deformación (δ) 43

FIGURA Nº 13. Comparación madera sin clasificar con los otros grupos 54

INFOR

INDICE DE TABLAS

Página

TABLA Nº 1. MEDICIONES HECHAS EN LAS LAMINAS Y CALCULO DE SU MODULO DE ELASTICIDAD 24

TABLA Nº 2. PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA MUESTRA Y DE LOS GRADOS ELEGIDOS 27

TABLA Nº 3. LIMITES DE DEFECTOS PARA LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL VISUAL DE MADERA PARA LAMINADOS 30

TABLA Nº 4. ESPECIFICACIONES PARA LOS GRADOS DEFINIDOS AL USAR UNA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA 31

TABLA Nº 5. REGISTRO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES 41

TABLA Nº 6. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 1. VIGAS CON MADERA SIN CLASIFICAR 44

TABLA Nº 7. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 2. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO C 45

TABLA Nº 8. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 3. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO A 45

TABLA Nº 9. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 4. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADOS C Y GRADO A 46

TABLA Nº 10. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 5. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO A Y LAMI

INFOR

Página

NA TRACCIONADA CON MADERA LIBRE DE DEFECTOS 46

TABLA Nº 11. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 6. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO C Y LAMINA TRACCIONADA CON MADERA LIBRE DE DEFECTOS 47

TABLA Nº 12. DATOS AJUSTADOS PARA EL GRUPO Nº 1. VIGAS CON MADERA SIN CLASIFICAR 49

TABLA Nº 13. DATOS AJUSTADOS PARA GRUPOS Nº 2, Nº 3, Nº 4, Nº 5 Y Nº 6 50

TABLA Nº 14. COMPARACION DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA SIN CLASIFICAR CON EL RESTO DE LOS GRUPOS (METODO DE COMPARACION: t DE STUDENT) 53

TABLA Nº 15. COMPARACION DE LOS GRUPOS DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA CLASIFICADA 56

TABLA Nº 16. TENSIONES ADMISIBLES OBTENIDAS 62

TABLA Nº 17. TENSIONES ADMISIBLES DE FLEXION Y MODULOS DE ELASTICIDAD MEDIO EN FLEXION ASIGNADAS A LOS GRUPOS SELECCIONADOS 62

TABLA Nº 18. COMPARACION DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA GRADO C CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA 68

INFOR

Página

TABLA Nº 19. COMPARACION ENTRE VIGAS FABRICADAS CON MADERA GRADO A CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA 69

TABLA Nº 20. COMPARACION ENTRE VIGAS DEL GRUPO Nº 4 CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA 71

TABLA Nº 21. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULOS ELASTICOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES GRUPOS DEFINIDOS 72

INFOR

1.0 INTRODUCCION

El conocimiento exacto de las propiedades de todo material de ingeniería civil es esencial para una aplicación apropiada. Reconociendo este hecho se ha realizado esta investigación destinada a definir las características resistentes de la madera laminada encolada usada como elemento estructural, la cual se ha constituido en un material de construcción versátil en países desarrollados.

La madera laminada resulta de la unión (mediante adhesivo) de piezas de madera cortas y delgadas, ensambladas por sus caras y extremos de modo tal, que sus fibras quedan paralelas al eje del elemento, sea éste recto o curvo.

Las ventajas que ofrecen los elementos laminados son numerosas y entre ellas es posible destacar su baja razón peso/resistencia, su buena resistencia al fuego, su elasticidad y su versatilidad pues, con esta tecnología es posible diseñar vigas rectas (de hasta 30 m de luz), arcos (de hasta 90 m de luz) y marcos (de hasta 60 m de luz).

Estos elementos se pueden aplicar en el diseño de estructuras destinadas a cubrir grandes espacios tales como galpones industriales, galpones agrícolas, supermercados, escuelas, recintos deportivos, salas de uso múltiple, iglesias, puentes, servicentros, etc.

La madera laminada ha tenido éxito en todos los países desarrollados y la tecnología de fabricación fue introducida en Chile por el Instituto Forestal en el año 1964.

INFOR

Desde esa fecha se han realizado distintos esfuerzos por imponerla como un material de construcción alternativo, sin embargo, los resultados de esta gestión no han sido del todo positivos debido, principalmente, al desconocimiento que de sus propiedades resistentes tienen los profesionales de la construcción.

Como una manera de difundir este material, el Instituto Forestal, en 1984, puso en funcionamiento una Planta Piloto en la cual se fabricó madera laminada. Este hecho ha despertado gran interés entre Arquitectos e Ingenieros, los que han diseñado y construido diferentes estructuras en madera laminada.

En el desarrollo de estos proyectos se ha observado la dificultad en el dimensionamiento de los elementos estructurales laminados debido al desconocimiento de sus resistencias unitarias.

Actualmente el diseño y cálculo se realiza usando la metodología de la madera sin laminar, lo que conlleva a un sobredimensionamiento de las secciones, pues es un hecho conocido que el proceso de laminación eleva la resistencia del elemento estructural. Esto se debe a la dispersión y limitación del tamaño de las características reductoras de la resistencia, producto de que la madera laminada se obtiene uniendo láminas de no más de 45 mm de espesor.

El procedimiento que establece para la madera laminada la Norma Chilena de Cálculo de Construcciones en Madera (NCh 1198) consiste en asignar las tensiones unitarias del Pino insigne no laminado, con una reducción de 50%, que considera la limitación de la presencia de defectos tales como nudos, fibra desviada, grietas, etc., a través de una clasificación estudiada para madera no laminada. Pos

teriormente se consideran los efectos de duración de carga, tamaño de la sección transversal y otros que se derivan de las condiciones de servicio a que estará expuesto el elemento estructural.

La madera destinada a laminados debe tener una clasificación especialmente definida para tal uso, en la cual se considere, en forma muy especial, el tamaño y ubicación de los nudos y la desviación de la fibra de la madera, características éstas que inciden fuertemente en la resistencia del elemento laminado.

Aplicar la clasificación y las tensiones unitarias de la madera sin laminar a la madera laminada es una inexactitud que lleva, por lo general, a un sobredimensionamiento de las dimensiones de los elementos laminados y a un mal aprovechamiento del recurso.

El presente estudio define las características que debe tener la madera para productos laminados fabricados con Pino insigne y en función de tales características establecer un método de cálculo (diseño estructural) de acuerdo a las resistencias reales que se obtengan del ensayo de vigas confeccionadas con la madera que cumpla con las especificaciones establecidas.

INFOR

2.0 CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA PARA LAMINADOS

2.1 Necesidad de Clasificar Estructuralmente la Madera

Cuando se tiene que fabricar un elemento estructural de madera, la o las piezas que lo conforman deberán ser examinadas o clasificadas a fin de verificar que sus propiedades resistentes son las adecuadas para resistir la carga de diseño en las condiciones de servicio que se presumen.

Tal clasificación debe hacerse en cada una de las piezas, antes de que ellas se destinen a un uso estructural.

Mientras menos grupos o grados consultan una clasificación, mayor es el número de restricciones con las cuales se encuentra el Ingeniero Calculista pero más fácil resulta la operación de clasificación. Un grado único de clasificación estructural inevitablemente lleva a un uso antieconómico de la madera debido a que el grado es definido por las características de las piezas de más baja calidad aceptadas en él y, como un gran número de piezas pertenecientes a dicho grado son de una calidad superior a ellas, resulta que al usarlas estructuralmente bajo tales especificaciones originan estructuras sobredimensionadas. Sin embargo, la operación de clasificación resulta muy simple. Se trata de verificar si una pieza cumple o no con las especificaciones del grado. Por el contrario, si una norma de diseño especifica más de un grado, el Ingeniero tiene una mayor libertad en el diseño, resultando de ello un uso más económico de la madera pero, en cambio, se requiere de una labor de clasificación más exacta y por lo tanto más onerosa.

INFOR

2.2 Características que Influyen sobre las Propiedades Resistentes de la Madera

Las propiedades mecánicas determinadas en probetas de madera normalizadas, libres de toda característica reductora de la resistencia de la madera (defectos), permiten comparar las especies madereras entre sí, pero no pueden usarse en el diseño de elementos estructurales. Estos son de mayor tamaño que las probetas y por lo tanto contendrán características de crecimiento que no son permitidas en tales probetas de ensayo y que influirán negativamente en la resistencia de las piezas estructurales.

Desgraciadamente el árbol crece con defectos, cuyos orígenes pueden ser naturales (inherentes al árbol) o causados por agentes que lo atacan. Ambos tipos de características afectan las resistencias de las piezas que se extraen del árbol.

En base a estas características reductoras de la resistencia se establecen reglas para separar grupos de piezas con resistencias similares a fin de ser usadas estructuralmente tanto en la fabricación de elementos laminados estructurales como en la construcción con madera aserrada.

La separación de piezas de madera de acuerdo a reglas pre-establecidas toma el nombre de clasificación. Si el uso que se le pretende dar a esta madera es de tipo estructural, tal clasificación toma el nombre de clasificación por resistencia o clasificación estructural.

Se revisarán a continuación las diferentes características que influyen sobre la resistencia de la madera.

INFOR

2.2.1 Nudos

El nudo se define como un tejido leñoso, dejado por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes a los de la madera de las zonas circundantes. Es una de las características reductoras de resistencia más importante. Disminuye la resistencia de la pieza en la cual él aparece debido a que la dirección de la fibra de la madera cambia su dirección para rodear al nudo, causando una desviación en la transmisión de tensiones de dirección paralela al eje de la pieza. Además, en la madera que rodea al nudo, se producen grietas originadas por el secado, las cuales también afectan la resistencia de la pieza. Para los efectos de una clasificación estructural no se hace distinción entre el nudo firme, el nudo suelto (rodeado por corteza) y los agujeros, que generalmente se originan por el desprendimiento de un nudo.

El efecto de los nudos sobre la rigidez (módulo de elasticidad a la flexión) es leve, lo cual es importante cuando se especifica madera para columnas esbeltas. La resistencia de columnas cortas (poco esbeltas) depende de la razón formada entre el tamaño del nudo y la sección transversal del elemento comprimido.

La resistencia a la tracción es afectada por la presencia de los nudos en mayor grado que en los casos de compresión paralela a las fibras y de cizalle. El monto de tal incidencia depende del tamaño del nudo y de la cantidad de sección transversal ocupada por él.

En elementos de madera aserrada a usar como vigas, es importante la ubicación del nudo en la pieza y su tamaño se limita por su localización. Sólo nudos pequeños son aceptados en

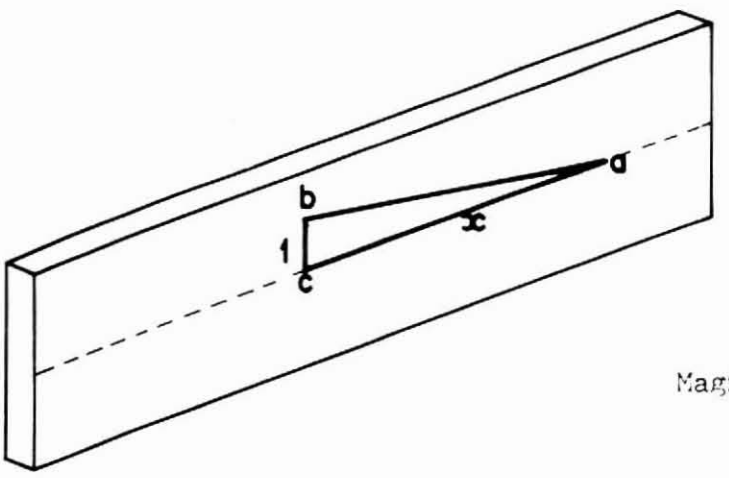
INFOR

los cantos y bordes de la cara debido a que en esas zonas las tensiones de flexión son altas. Se pueden aceptar nudos mayores en la zona central de la cara, cerca del eje neutro de la pieza flexionada. En elementos comprimidos no se restringe el tamaño de los nudos por su localización.

Los diferentes grados de calidad se determinan limitando la mayor dimensión de nudo permitido, en la cara de la pieza, para cada grado y además, el intervalo al cual a ellos se les permite ocurrir en una misma pieza.

2.2.2 Desviación de la Fibra

Cuando la fibra de la madera queda formando un ángulo con el eje de la pieza se dice que ella tiene "fibra inclinada" o "fibra desviada". La magnitud de esta inclinación queda medida por la distancia (x) a la cual se produce la unidad de separación entre la fibra y el eje de la pieza. Ver Figura Nº 1.



$\overline{ac}$ = x = Distancia sobre el eje de la pieza.

$\overline{ab}$ = Inclinación de la fibra.

$\overline{bc}$ = 1 = Distancia unitaria entre la fibra y el eje de la pieza.

Magnitud de la desviación = 1:x

FIGURA Nº 1. Medida de la desviación de la fibra.

INFOR

Cuando existe "fibra desviada" en un elemento de madera, las tensiones de compresión o de tracción tienen componentes que actúan perpendicularmente a la dirección del eje de la pieza y por tal razón la resistencia disminuye en una cantidad proporcional a la magnitud de dicha desviación.

Esta característica tiene distinto efecto sobre las diferentes propiedades de la madera: la compresión paralela a las fibras es la menos alterada, después sigue el módulo de elasticidad a la flexión y luego el módulo de ruptura, el cual es afectado por desviaciones tan bajas como 1:20.

Los defectos de secado, particularmente la contracción y torcedura se asocian con esta característica, por lo cual se constituye en indeseable.

2.2.3 Arista Faltante

Es la ausencia de madera o presencia de corteza en la arista de una pieza. Se le denomina también como "canto muerto". Se limita porque reduce las áreas de aplastamiento (compresión normal a las fibras) y las superficies de unión, afea el aspecto y produce problemas en la fabricación de elementos estructurales.

2.2.4 Acebolladura, Grieta y Rajadura

La acebolladura es la separación longitudinal de dos anillos de crecimiento consecutivos. Las grietas y rajaduras son separaciones longitudinales de las fibras o elementos constitutivos de la madera, las cuales aparecen en los cantos y ca

ras de la pieza.

Estas características reducen la resistencia al cizalle de elementos sometidos a flexión, reducción que no se produce en piezas comprimidas.

2.2.5 Pudrición

El uso de madera con pudrición no es permitido en las estructuras de madera pues este defecto, en estado avanzado, disminuye notoriamente la resistencia de la madera. La extensión de la pudrición en la madera no siempre es fácil de determinar y su efecto sobre las propiedades resistentes puede ser mayor que el determinado por la inspección.

2.2.6 Bolsillo

Presencia de una cavidad bien delimitada que contiene corteza, resina o tanino. Estas características se aceptan en la madera de uso estructural debido a que ellas no reducen notoriamente la resistencia de la pieza. Las restricciones que aparecen en las diferentes reglas de clasificación, son muy leves.

2.2.7 Alabeos

Deformaciones que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes longitudinal o transversal, o de ambos a la vez. Usualmente se producen por causa de un secado defectuoso. Estas deformaciones, normalmente, no afectan la resistencia de un elemento de madera.

INFOR

2.2.8 Mancha Azul

El hongo que causa la mancha azul es el más común de los que manchan la madera y él vive exclusivamente en la savia de coníferas y latifoliadas. Este hongo raramente destruye las fibras de la madera, por lo cual se considera que no reduce la resistencia de la pieza donde él se presenta. Se limita sólo con fines estéticos.

2.2.9 Velocidad de Crecimiento

La velocidad de crecimiento queda representada por el ancho medio del anillo de crecimiento anual o también por el número promedio de anillos presentes en una unidad de longitud. Se la considera como representativa de la resistencia de la especie maderera.

Su restricción tiene algún mérito pues asegura una cierta proporción de madera de verano en la pieza. Las reglas de clasificación difieren bastante al especificar esta característica, variando desde 1,6 a 7,9 anillos/cm, esto es un esfuerzo para asegurar material uniforme.

2.3 Criterios a Seguir en la Clasificación de Piezas para Fabricar Madera Laminada

A continuación se analizará el criterio que se debe seguir cuando se plantea una clasificación destinada a separar grupos de piezas que serán usadas en la fabricación de un elemento de madera laminada, sometido a flexión. Este criterio se comparará con aquel aplicado a la madera aserrada a emplear en elemen

INFOR

tos estructurales.

$$t = \frac{7.53 \times 10^9}{\delta e^3}$$

2.3.1 Nudos

Las normas de clasificación para madera aserrada se establecen suponiendo que la pieza va a ser usada como un elemento estructural aislado, como es el caso de vigas y pilares. También se acepta que la viga se usará sin apoyos intermedios, cargada sobre sus cantos. En este caso el borde superior quedará comprimido y el inferior traccionado. Ver Figura Nº 2.

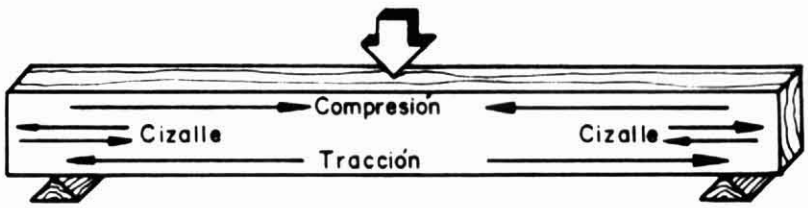


FIGURA Nº 2. Viga sometida a flexión.

Cuando esto ocurre existe una tendencia de la parte superior a deslizarse sobre la zona inferior provocando tensiones de cizalle en la zona central. Esta tendencia de deslizamiento se inicia en los extremos de la pieza.

Las solicitaciones de flexión de una viga, como la señalada en la Figura Nº 2, son mayores en el tercio central de la longitud por lo cual es usual especificar con mayor estrictez el tamaño de los nudos que se ubican en dicha zona, especialmente de aquéllos que pueden aparecer en los cantos de la viga. Ob

viamente el control será menos riguroso en los extremos del elemento flexionado.

La influencia de un nudo sobre la resistencia de una viga de madera aserrada queda determinada por la localización del nudo en la viga y por la proyección de su área sobre la sección transversal de la pieza. La resistencia de la viga queda, a su vez, definida por el efecto del mayor nudo que aparece en la cara calificada como la de peor calidad y por la incidencia de la desviación de la fibra alrededor del nudo.

Una viga de madera laminada se construye con diferentes láminas delgadas (encoladas por sus caras), de modo que la carga sea aplicada en una de tales caras y la suma de los espesores de las láminas conformen la altura de la viga. Esto es justamente lo contrario a lo que sucede con la viga de madera aserrada en la cual existe una alta probabilidad de que la carga se aplique sobre el canto de la pieza.

No debiera existir diferencia significativa entre la resistencia de una viga de madera laminada y de la madera aserrada, si ambas se conforman con madera libre de defectos y si, además, ellas poseen un mismo contenido de humedad. Lo anterior es válido siempre que las líneas de encolado, en la viga de madera laminada, no tengan una incidencia significativa en su resistencia.

Sin embargo, cuando esta comparación se efectúa con vigas fabricadas con madera pertenecientes a un grado determinado, es decir, en ellas se aceptan defectos con magnitudes especificadas por dicho grado, aparece una significativa ventaja en el uso de vigas de madera laminada por sobre aquéllas confeccionadas con madera aserrada de similar calidad. La explicación de

esta ventaja se basa en que en una pieza aserrada, un nudo puede tener una penetración en la madera que en la mayoría de los casos atraviesa el espesor de toda la pieza, en cambio, en la madera laminada, tal penetración sólo puede alcanzar el espesor de la lámina en la cual el nudo aparece. En las peores condiciones, la máxima penetración de un nudo puede llegar a 5 cm que es el mayor espesor recomendado para las láminas. De lo anterior se puede afirmar: "En un elemento laminado el efecto de un nudo sobre su resistencia depende del tamaño del nudo, de su ubicación y de la posición de la lámina en la cual él aparece, dentro de la sección transversal del elemento". En resumen: Cuando se especifica madera aserrada para ser usada como viga o pilar, las restricciones de las magnitudes de los nudos varían con la posición que ellos tienen en la pieza. En cambio cuando se especifica madera para usarla como láminas de una viga laminada sólo se establece el tamaño máximo del nudo que un grado puede admitir, cualquiera sea su ubicación en la pieza, esto debido a que la carga será resistida por la cara del elemento.

En una viga laminada, la reducción de la resistencia a la flexión causada por un nudo, puede considerarse originada por la reducción de la sección transversal de la viga en una magnitud igual al área ocupada por el nudo. El efecto de esto es una reducción del momento de inercia efectivo de la sección transversal de la viga. De lo anterior se deduce que un nudo ubicado cerca del eje neutro tiene una menor incidencia en la reducción de la resistencia a la flexión que otro de la misma magnitud, ubicado en las láminas más alejadas de dicho eje.

El proceso de fabricación de una viga laminada permite un uso eficiente y económico de la madera al ubicar láminas de mejor calidad (con nudos de pequeña magnitud) en las zonas exteriores de la viga y láminas de peor calidad (con nudos de gran

INFOR

magnitud) en la zona central de la sección transversal, en donde láminas de baja resistencia afectan poco la resistencia total de la viga.

Estudios sobre frecuencia de nudos en las láminas, realizados en EE.UU., Canadá e Inglaterra, han demostrado que los nudos raramente se ubican uno sobre otro en láminas adyacentes, aún cuando las láminas se ordenen al azar. Al proceder con una selección y ordenamiento cuidadoso de las láminas, los nudos pueden dispersarse convenientemente y obtener así una alta resistencia en la viga o elemento laminado.

Las piezas que clasifican en un grado determinado pertenecerán a dos tipos, en lo que a nudo se refiere:

i) Aquéllas que contienen el tamaño de nudo máximo permitido por el grado, y

ii) aquéllas que teniendo un nudo de dimensión menor a la permitida por el grado, ella, no es lo suficientemente menor como para clasificar la pieza en el grado de calidad inmediatamente superior.

Si dos láminas pertenecientes a un grado específico se unen para fabricar una viga de madera laminada, resulta obvio que es bastante baja la probabilidad de que dos nudos de tamaño igual al máximo permitido por tal grado queden coincidentes. Si se incrementa el número de láminas, es aún más remota la posibilidad de que cada una de ellas aporten un nudo, igual al tamaño máximo permitido por el grado, en el mismo lugar, de modo que todos los nudos coincidan.

Cuando se usa más de un grado en la fabricación de una

viga laminada, su resistencia quedará controlada por :

a) Los máximos tamaños de nudos permitidos por los grados en las zonas interiores y exteriores.

b) La proporción de láminas pertenecientes a grados de alta y baja calidad.

c) El número de láminas que se incluyen en la viga.

2.3.2 Desviación de la Fibra

Al establecer reglas de clasificación para madera laminada estructural es común limitar la desviación de la fibra de tal manera que su efecto sea mayor que aquel proveniente del máximo tamaño de nudo permitido. Es de creencia general que la desviación de la fibra tiene menos efecto sobre la resistencia en los componentes de un laminado que en la madera aserrada. Se ha demostrado que prácticamente no existe diferencia entre las especificaciones de desviaciones de fibra para elementos de madera aserrada y madera laminada.

2.3.3 Arista Faltante

La cantidad de arista faltante permitida en madera aserrada es severamente restringida debido a que ella reduce las secciones transversales resistentes al aplastamiento y las áreas de clavado. En cambio, para madera laminada el canto muerto es admitido siempre que él sea removido durante el proceso de elaboración de los elementos laminados.

En el proceso de fabricación de madera laminada existe

INFOR

una gran cantidad de pérdida de material. Parte de ella se produce durante la actividad de uniones de extremos y otra parte en el proceso de terminaciones destinado a dar las dimensiones finales del elemento que se fabrica.

La cantidad de canto muerto que se acepta por las especificaciones de madera destinada a laminados, es restringida a valores que serán removidos durante la confección de uniones de extremos y en la elaboración de la pieza para obtener sus medidas finales, de tal modo que resulte un uso más económico de la madera.

2.3.4 Acebolladura, Grietas y Rajaduras

Se acepta una actitud bastante tolerante con respecto a grietas y rajaduras presentes en las láminas. Cuando estos defectos se presentan en las caras, invariablemente ellos quedan cubiertos de adhesivo y por lo tanto se comportan de la misma forma que las uniones de canto. Para defectos que aparecen en los extremos del elemento, normalmente son removidos durante la elaboración final.

Cuando aparecen en los cantos su efecto sobre la resistencia queda limitado por el espesor de la lámina usada.

Esto es totalmente diferente respecto a las estrictas restricciones que se imponen en la madera aserrada.

2.3.5 Bolsillos

Grandes cantidades de resina sobre las superficies de las láminas son causantes de serias interferencias para lograr un buen encolado, y por esta razón los bolsillos de resina se deben restringir severamente. Este defecto se acepta en forma

ocasional con un ancho máximo de 3 mm y con una longitud igual al ancho de la pieza siempre que no exuden resina sobre la superficie a encolar.

En la clasificación de madera aserrada no existe este tipo de restricción.

2.3.6 Alabeos

Para el caso de piezas destinadas a la fabricación de madera laminada los alabeos se restringen severamente debido a la necesidad de asegurar un íntimo contacto entre dos láminas adyacentes cuando se aplica presión al ensamble de láminas encoladas.

2.3.7 Perforación y Pudrición

Se debe rechazar la madera con perforación y/o pudrición, ya sea la destinada a laminados, como la destinada a madera aserrada de tipo estructural.

2.3.8 Encolabilidad

Deberán rechazarse de una clasificación para laminados aquellas piezas que por alguna razón, cualquiera que ella sea, puedan producir líneas de cola débiles.

Estas razones pueden ser:

i) Nudos sobresalientes (puesto que ellos impiden que las pie

zas encoladas entren en íntimo contacto).

ii) Alabeos (acanaladura, encorvadura, torcedura y arqueadura).

iii) Superficies contaminadas con aceite, pintura, grasa, etc. (este tipo de substancias debilitan la línea de encolado, aún cuando se haya cepillado antes de encolar pues penetran en la madera y no son removidas totalmente por el cepillado).

Cuando se clasifican láminas, la primera y principal condición es que ellas sean capaces de producir líneas de cola resistentes y eficientes. La pieza que ofrezca alguna duda en lograr esta condición debe rechazarse.

Estos requerimientos no forman parte de las especificaciones de clasificación para madera aserrada.

2.4 Método Seguido en este Estudio para Definir la Clasificación de la Madera Destinada a Madera Laminada

2.4.1 Antecedentes

Es posible medir la resistencia de una pieza de un determinado material sin destruirla. Tal medición sólo se logra mediante un método indirecto que cuantifique, no destructivamente, alguna propiedad de la pieza que esté asociada con su resistencia. El conocimiento sobre la resistencia de tal elemento dependerá de la exactitud con que esta propiedad refleje la resistencia de la pieza. Ejemplos de propiedades indicadoras para la madera son el módulo de elasticidad en flexión, la densidad, la desviación de la fibra, ancho de anillos de crecimiento, ta

maño de nudos, etc.

La clasificación visual fue el primer método de agrupamiento aplicado a la madera. Desarrollado a fines de 1920 es aún el proceso mediante el cual se clasifica un gran volumen de madera. Este sistema ha cumplido bastante bien su finalidad mientras el recurso fue abundante y los requerimientos estructurales no estuvieron en primer plano.

La primera finalidad de las reglas de clasificación visual era predecir, en forma segura, la resistencia de una determinada pieza de madera. En la actualidad esto ya no constituye el objetivo de una clasificación estructural. En su lugar se está intentando clasificar de modo que a un grado específico se le puedan asignar resistencias mínimas probables que excluyan hasta un 5% de la población definida para dicho grado (percentila con valor 5%).

Los principales indicadores de la clasificación visual son las dimensiones del nudo y su ubicación en la pieza.

Indicadores de segunda importancia son la desviación de la fibra y la densidad.

Las actuales reglas de clasificación visual generan coeficientes de variación comprendidos entre 25 y 40% para las resistencias de piezas clasificadas en un grado determinado. Por otro lado se producen grandes traslapos entre los diferentes grados y comúnmente un 60% del material perteneciente a un grado tiene resistencias que duplican aquélla asignada a ese grado. La queja más importante contra este sistema (aparte de aquélla que señala su trabajo deficiente) es que depende del criterio personal del clasificador.

INFOR

La clasificación estructural mecánica se hizo posible sólo cuando se demostró la buena correlación existente entre las resistencias de flexión, compresión y tracción y el módulo de elasticidad en flexión (E_f). De esta manera si se mide satisfactoriamente el E_f de una pieza, él se puede usar para clasificar piezas de madera que tengan propiedades resistentes superiores a un mínimo especificado.

Si la ecuación de regresión entre el módulo de ruptura (R_f) y el E_f de una población es:

$$R_f = a + b\, E_f$$

y existe entre ambas variables un coeficiente de correlación r (que de acuerdo a los antecedentes recopilados es del orden de r = 0,70), es posible definir grados de calidad para las piezas de madera usando diferentes valores del E_f. (Ver Figura Nº 3).

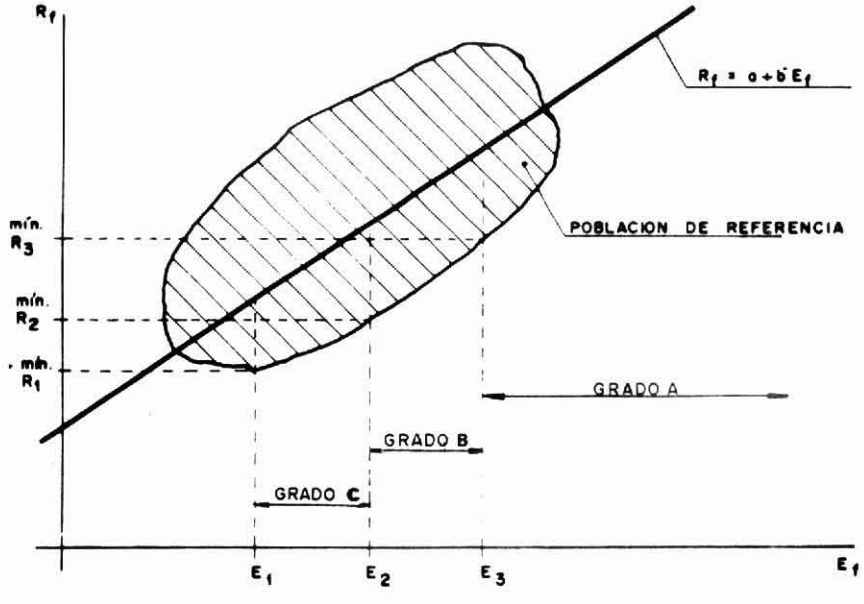


FIGURA Nº 3. Relación entre módulo de ruptura (R_f) y módulo de elasticidad (E_f).

Para el caso señalado en la Figura Nº 3 se puede intentar una clasificación con los siguientes límites:

Grado A : Piezas con $E_3 < E_f$
Grado B : Piezas con $E_2 < E_f < E_3$
Grado C : Piezas con $E_1 < E_f < E_2$

Los valores de resistencia mínimos probables (percentil 5%) serán $R_1^{mín}$, $R_2^{mín}$ y $R_3^{mín}$, los cuales se determinarán con una confiabilidad estadística previamente establecida de acuerdo al número de piezas que constituyan la muestra seleccionada de la población de referencia.

El objetivo de este procedimiento es eliminar la apreciación ocular del clasificador y sólo depender de la presencia de los defectos en la pieza.

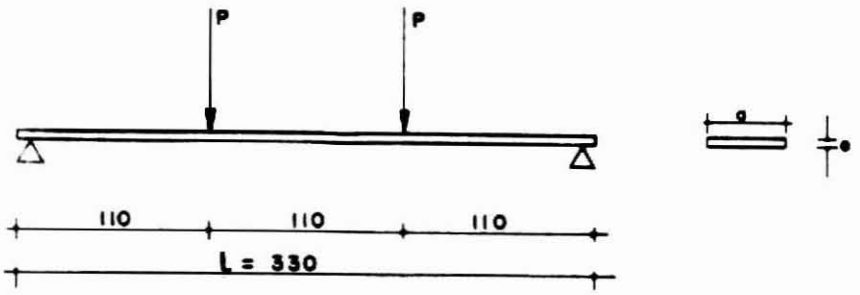
2.4.2 Descripción del Método

En base a los antecedentes establecidos en el párrafo anterior el presente estudio ha contemplado un procedimiento mixto para definir las especificaciones de los grados de calidad de la madera a ocupar en la fabricación de los elementos laminados.

La madera estaba constituida por piezas de Pino insigne (Pinus radiata D. DON) de 1 ½" x 5" x 3,66 m nominales.

Cada pieza fue sometida a un proceso de carga según la distribución que se señala en la Figura Nº 4.

INFOR



en que :

P = carga aplicada en cada punto

e = espesor de la pieza

a = ancho de la pieza

L = luz del ensayo

FIGURA Nº 4. Distribución de las cargas para ensayo destinado a clasificar láminas.

El procedimiento consistió en aplicar sobre la pieza dos cargas (P) iguales a 5,525 Kg, cada una de ellas ubicada en los puntos tercios de la luz. Una vez colocadas las cargas se midió la deformación de la pieza en el centro de la luz de ensayo. Posteriormente se incrementaron dichas cargas hasta llegar a un valor de 11,452 Kg en cada punto de aplicación, después de lo cual se hizo una segunda medición de la deformación. El resumen del procedimiento se señala en el esquema siguiente:

ESTADO DE CARGA	P * (Kg)	P ** (Kg)	DEFORMACION *** (δ)
1	5,525	5,525	δ_1
2	11,452	11,452	δ_2

* Ubicada en el punto tercio izquierdo de la luz
** Ubicada en el punto tercio derecho de la luz
*** Medida en el centro de la luz.

INFOR

Este procedimiento se completó aplicando las solicitaciones en ambas caras de la pieza. Con los valores de carga y deformación se calculó el módulo de elasticidad de la pieza usando la fórmula siguiente:

$$E_f = \frac{23\ P\ L^3}{54\ \delta\ a\ e^3}$$

en que :

E_f = módulo de elasticidad de la pieza
P = carga aplicada en los puntos tercios de la luz
L = luz de ensayo
a = ancho de la pieza
e = espesor de la pieza
δ = deformación en el centro de la luz

Un ejemplo del tipo de mediciones hechas en las piezas y de los cálculos realizados para obtener sus módulos de elasticidad, para ambos estados de carga aplicados en cada cara, se incluyen en la TABLA Nº 1.

El E_f asignado a la pieza fue aquel de menor valor entre los cuatro que se calcularon para cada pieza.

A este procedimiento se sometieron un total de 584 piezas para las cuales se obtuvo la curva de distribución de frecuencia que se incluye en la Figura Nº 5.

La correspondiente curva de distribución acumulada es la que se señala en la Figura Nº 6, en la cual será posible acotar los grados de modo que en cada uno de ellos quede un porcentaje importante de la población en estudio.

INFOR

TABLA Nº 1. MEDICIONES HECHAS EN LAS LAMINAS Y CALCULO DE SU MODULO DE ELASTICIDAD.

PIEZA Nº	ESPESOR e (mm)	ANCHO a (mm)	LONGITUD L (mm)	PESO g (Kg)	CONTENIDO HUMEDAD (%)				DENSIDAD Kg/m³	DEFORMAC. I (cm)	E_f Kg/cm²
					H_1	H_2	H_3	$\bar{H}$			
1 A	36, 9	128, 4	369, 4	8.332, 0	9, 10	9, 30	9, 20	9, 2	476, 0	5, 30	97.376
1 A'										11, 89	89.970
1 B										5, 28	97.745
1 B'										11, 93	89.668
2 A	38, 6	129, 7	368, 0	10.329, 0	9, 30	10, 0	9, 60	9, 6	561, 0	15, 05	88.386
2 A'										10, 62	87.116
2 B										4, 90	91.091
2 B'										10, 65	86.870
3 A	36, 6	127, 8	368, 7	8.167, 0	8, 00	8, 10	8, 20	8, 1	474, 0	5, 94	89.457
3 A'										12, 37	89.039
3 B										6, 10	87.110
3 B'										13, 06	84.335
4 A	39, 8	127, 4	368, 7	9.682, 0	9, 70	8, 60	8, 80	9, 0	517, 0	3, 29	125.997
4 A'										6, 92	124.165
4 B										3, 42	121.208
4 B'										6, 97	123.274

A : estado de carga 1 en cara A; **A'** : estado de carga 2 en cara A; **B** : estado de carga 1 en cara B; **B'** : estado de carga 2 en cara B.

INFOR

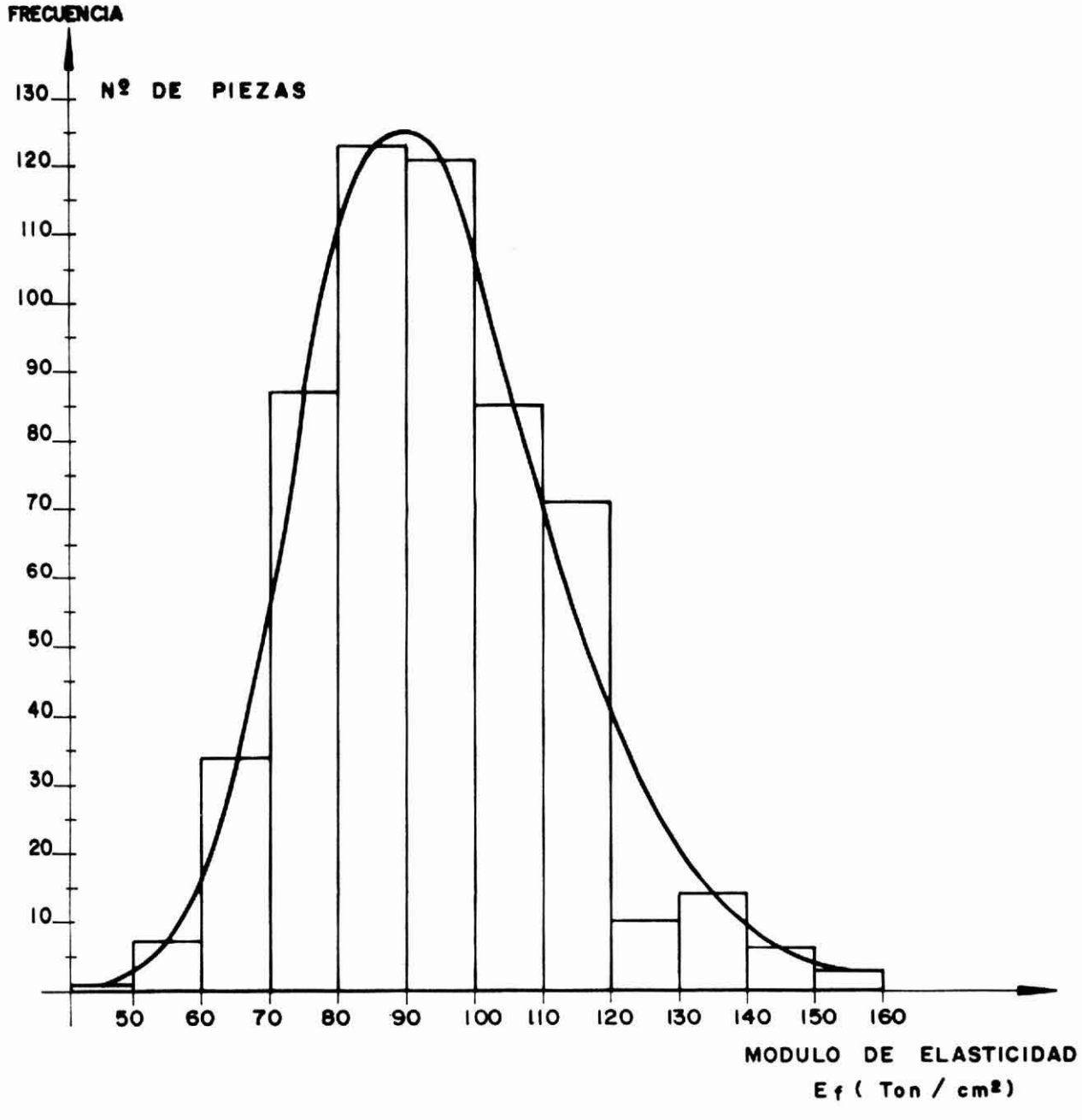


FIGURA Nº 5. Distribución de frecuencias del módulo de elasticidad en flexión de las piezas.

INFOR

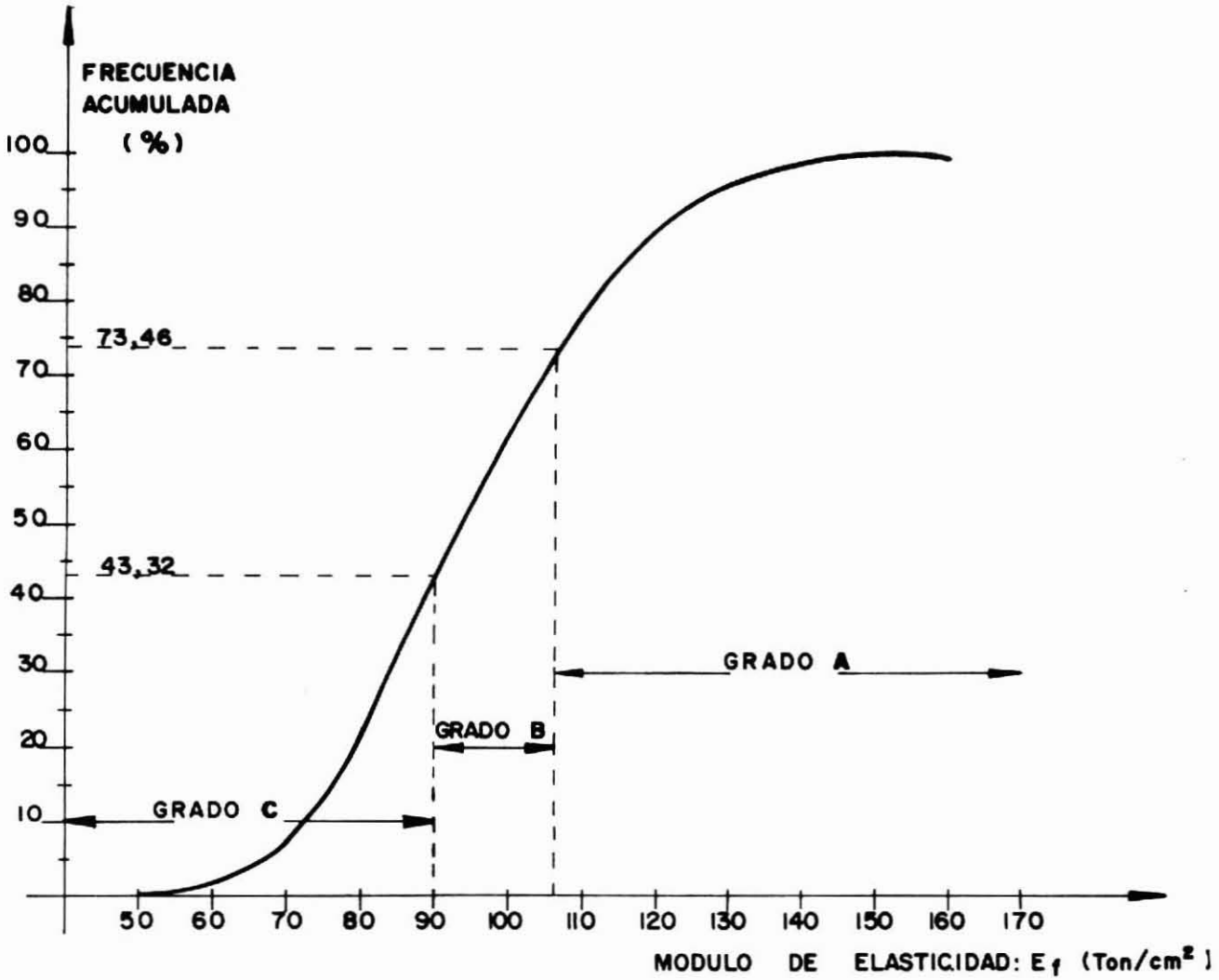


FIGURA Nº 6. Distribución de frecuencias acumuladas del módulo de elasticidad en flexión de las piezas.

Las características de la muestra constituida por todas las piezas que se ensayaron, aparecen en la TABLA Nº 2 (primer renglón), en el cual se señalan los parámetros estadísticos del E_f, de la densidad y del contenido de humedad.

En base a la curva de distribución acumulada se decidió

TABLA Nº 2. PARAMETROS ESTADISTICOS DE LA MUESTRA Y DE LOS GRADOS ELEGIDOS.

ITEM	CANTIDAD (N) (%)	MODULO DE ELASTIC. (Kg/cm^2)				DENSIDAD (Kg/m^3)				HUMEDAD %			
		Mín.	Máx.	Media	Coef. Variac. (%)	Mín.	Máx.	Media	Coef. Variac. (%)	Mín.	Máx.	Media	Coef. Variac. (%)
TODAS LAS LAMINAS	584 (100 %)	47.520	165.284	94.856	19, 39	355	682	472, 6	10, 14	7, 9	12, 9	9, 4	6, 59
GRADO A	155 (26, 54%)	106.079	165.284	118.918	9, 00	382	682	510, 6	7, 90	7, 9	12, 9	9, 6	6, 76
GRADO B	176 (30, 14%)	90.098	105.889	97.158	4, 77	358	563	473, 7	6, 47	7, 9	10, 6	9, 4	6, 05
GRADO C	253 (43, 32%)	47.520	89.893	78.513	10, 67	355	570	450, 4	8, 33	7, 9	11, 5	9, 3	6, 68

INFOR

aceptar los siguientes límites para los tres grados de calidad que se eligieron:

Grado A : $E_f \geqslant 106.000$ Kg-f/cm²

Grado B : $106.000 > E_f \geqslant 90.000$ Kg-f/cm²

Grado C : $90.000 > E_f \geqslant 40.000$ Kg-f/cm²

Para dichos grados la TABLA Nº 2 entrega, además, los parámetros estadísticos de E_f, densidad y contenido de humedad.

Este procedimiento se complementó con el estudio de las características reductoras de resistencia que presentaban cada una de las piezas asignadas a los 3 grados definidos.

El resultado de tal estudio se muestra en la Figura Nº 7 para la desviación de la fibra, en la Figura Nº 8 para los nudos y en la Figura Nº 9 para la velocidad de crecimiento. En ellas se incluyen las curvas que indican la frecuencia del defecto para cada uno de los grados.

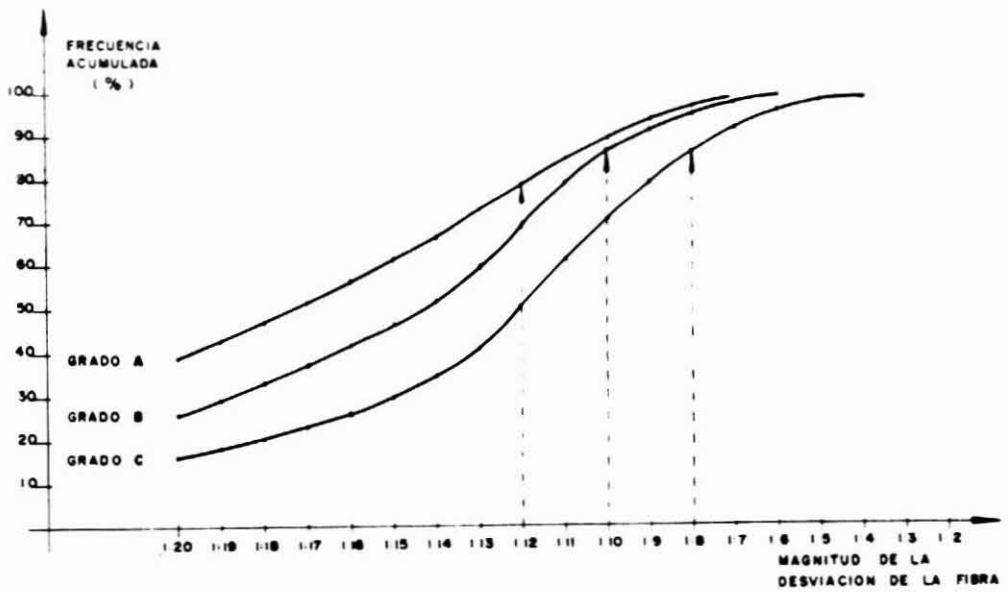


FIGURA Nº 7. Frecuencia de la desviación de la fibra en los diferentes grados.

INFOR

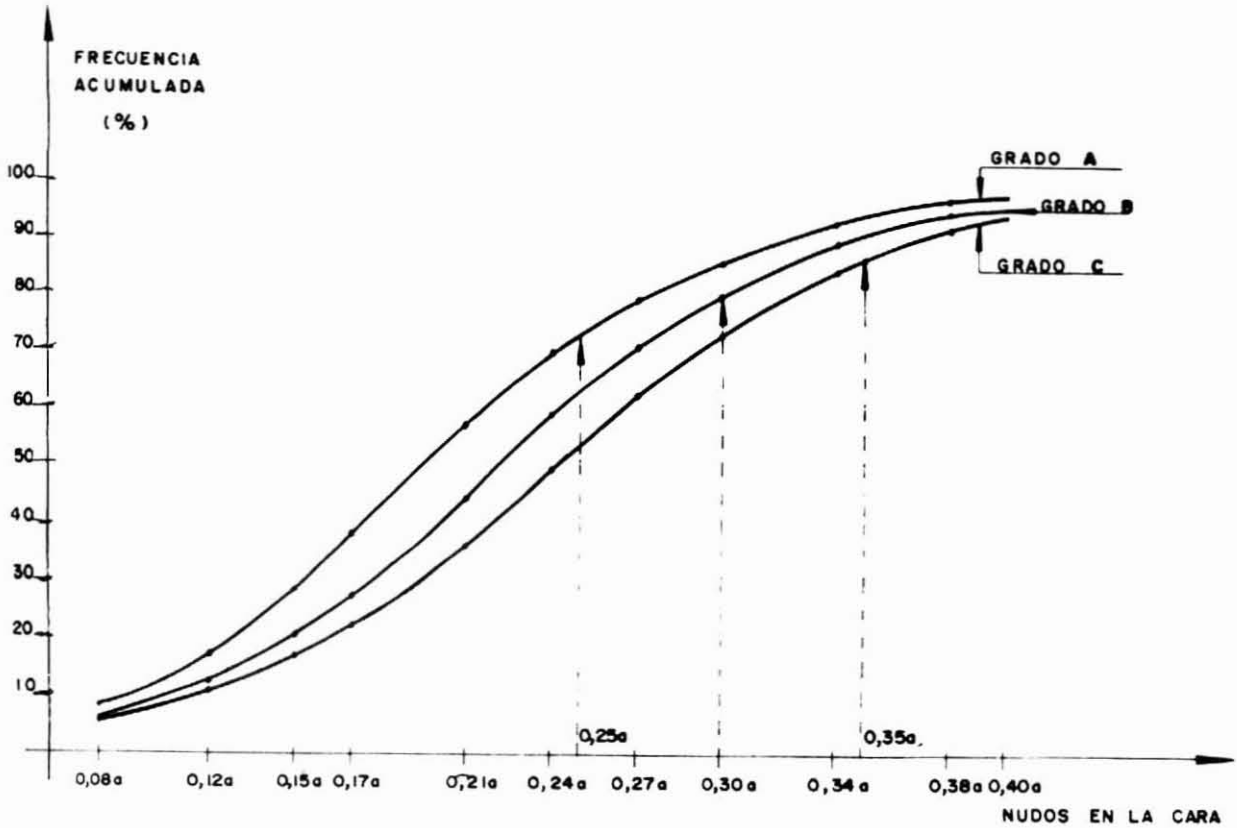


FIGURA Nº 8. Frecuencia de los nudos en los diferentes grados.

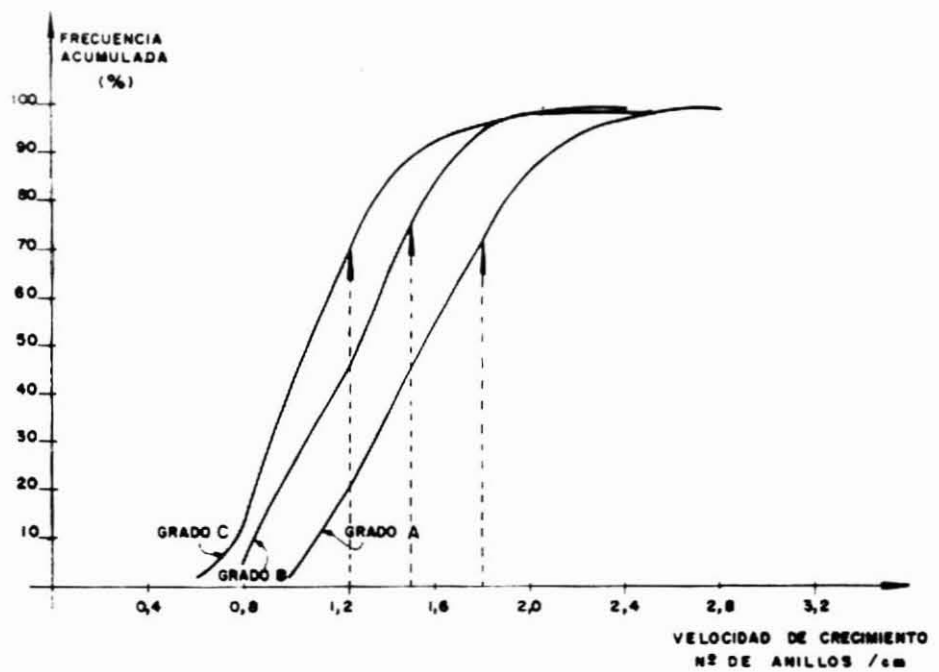


FIGURA Nº 9. Frecuencia de la velocidad de crecimiento en los diferentes grados.

INFOR

Si se desea evitar la clasificación estructural mecánica, para la cual se hace necesario determinar el E_f de cada pieza, se plantean a continuación especificaciones para una clasificación estructural visual. Estas se han delineado en función de las Figuras Nº 7, Nº 8 y Nº 9 de modo que los límites que se entregan para los defectos estudiados puedan ser superados por, a lo menos, un 70% de las piezas asignadas a cada grado. Por ejemplo, si en el Grado A se acepta un límite de 1:12 para la desviación de la fibra, la Figura Nº 7 nos señala que para tal límite existe un 80% de piezas asignadas a ese grado que tienen desviaciones de fibra menores que el límite señalado.

Con este criterio se han establecido los límites señalados en la TABLA Nº 3 para los defectos que interesan en una clasificación de madera destinada a la fabricación de laminados.

TABLA Nº 3. LIMITES DE DEFECTOS PARA LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL VISUAL DE MADERA PARA LAMINADOS.

DEFECTOS	LIMITES DE LOS DEFECTOS Y CARACTERISTICAS PARA		
	Grado A	Grado B	Grado C
Desviación de la fibra	1:12	1:10	1:8
Nudos en la cara	0,25a	0,30a	0,35a
Velocidad de crecimiento $(\frac{\text{Nº anillos}}{\text{cm}})$	1,25	1,5	1,8

a : ancho de la pieza.

INFOR

2.5 Clasificación Estructural Resultante

La madera empleada en el estudio quedó clasificada en tres grados, denominados como Grado A, Grado B y Grado C. Las características de estos grados se determinaron en forma experimental a través de la medición del E_f. Para cada grado se estudiaron las principales características reductoras de resistencia y con dicho estudio se confeccionaron las especificaciones para una clasificación visual.

Las especificaciones que resultan son las que se incluyen en los párrafos siguientes.

2.5.1 Para una Clasificación Mecánica

Las especificaciones para una clasificación mecánica de madera aserrada a ser usada en la fabricación de laminados se resumen en la TABLA Nº 4.

TABLA Nº 4. ESPECIFICACIONES PARA LOS GRADOS DEFINIDOS AL USAR UNA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA*

CLASES	MODULO DE ELASTICIDAD, E_f ($Kg\text{-}f/cm^2$)
Grado A	$E_f \geq 106.000\ Kg\text{-}f/cm^2$
Grado B	$106.000\ Kg\text{-}f/cm^2 > E_f \geq 90.000\ Kg\text{-}f/cm^2$
Grado C	$90.000\ Kg\text{-}f/cm^2 > E_f \geq 40.000\ Kg\text{-}f/cm^2$

* El E_f se debe determinar aplicando dos cargas en las caras de una pieza que se apoya en sus extremos con una luz de 330 cm. La ubicación de las cargas será a los tercios de la luz.

* La clasificación debe efectuarse con madera seca (contenido de humedad menor de 16%).

INFOR

2.5.2 Para una Clasificación Visual

Las especificaciones para una clasificación visual de madera a usar en la fabricación de laminados, son las siguientes:

a) Generalidades

- La clasificación debe efectuarse después que las piezas hayan sido secadas a un contenido de humedad no mayor de 16%.
- Cada pieza de madera debe ser clasificada antes de ensamblarla y marcarla con su grado. Cuando una pieza ya clasificada se reaserrea longitudinalmente o se corta a longitudes menores, debe someterse a una nueva clasificación considerando las medidas finales del elemento menor.
- Las definiciones y la forma de cuantificar los defectos se debe hacer de acuerdo a norma chilena NCh 992.
- No se acepta pudrición ni perforación.
- Se acepta mancha proveniente de savia. Se acepta la mancha azul siempre que su efecto sobre la apariencia de la pieza sea aceptable.
- Se aceptan nudos sueltos y agujeros, los cuales se deben medir y limitar a igual que los nudos firmes.
- Las piezas deben estar sin grietas, rajaduras o acebolladuras que formen un ángulo menor o igual a 45° con la cara de la pieza.
- Se aceptan bolsillos secos, con un ancho máximo de 3 mm y con una longitud igual al ancho de la pieza siempre que ellos aparezcan ocasionalmente.

INFOR

- No se aceptan piezas con alto contenido de resina en la superficie.

- Se acepta arista faltante en un canto, a lo largo de toda la pieza, si la magnitud máxima del defecto es 4 mm, la cual debe desaparecer cuando el elemento laminado sea cepillado.

- Se aceptan alabeos si sus magnitudes no superan los siguientes límites:

  i) Arqueadura : Se acepta con un máximo de 1,2 cm en 360 cm de longitud.

  ii) Acanaladura : Se acepta con los valores máximos que se dan en la Tabla siguiente:

ESPESOR NOMINAL (mm)	ACANALADURA MAXIMA ADMISIBLE (mm)		
	Ancho nominal (mm)		
	100 o menos	150	200 o más
25	Ninguna	1	3
50	Ninguna	Ninguna	1

  iii) Encorvadura: Se acepta con un máximo de 1,2 cm en 360 cm de longitud.

  iv) Torcedura : Se acepta con un máximo de 1,2 cm en 360 cm de longitud.

  Para láminas más delgadas (menos de 25 mm) estos requerimientos pueden rebajarse cuando se dispone de

INFOR

un adecuado sistema de prensado que elimine la distorsión durante el ensamblado.

- La desviación de la fibra se debe medir en una distancia lo suficientemente grande de modo que se determine la desviación general, despreciando desviaciones locales como las que se desarrollan alrededor de los nudos.

b) Grados Propuestos

i) **Grado A** Se acepta :

Desviación de fibra	:	Menor que 1:12
Nudos en la cara	:	Menores que $^1/_4$ del ancho de la cara (0,25a).
Velocidad de crecimiento	:	Más de 1,25 anillos por cada centímetro.

ii) **Grado B** Se acepta :

Desviación de fibra	:	Menor que 1:10
Nudos en la cara	:	Menores que $^3/_{10}$ del ancho de la cara (0,3a).
Velocidad de crecimiento	:	Más de 1,5 anillos por cada centímetro.

iii) **Grado C** Se acepta :

Desviación de fibra	:	Menor que 1:8
Nudos en la cara	:	Menores que 0,35a
Velocidad de crecimiento	:	Más de 1,8 anillos por cada centímetro.

INFOR

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

c) Otras Consideraciones

- Estas especificaciones son válidas sólo para elementos con laminación horizontal. Para elementos sometidos a flexión en los cuales la laminación es vertical, las piezas de madera deben clasificarse con las reglas establecidas para madera aserrada.

- Si el aspecto de las piezas que quedarán expuestas en las superficies exteriores deben cumplir con requerimientos especiales, éstos deberán ser considerados en la clasificación visual.

3.0 VIGAS LAMINADAS FABRICADAS

3.1 Tipos de Vigas a Fabricar

Para comprobar experimentalmente la importancia del proceso de clasificación estructural de la madera en la fabricación de elementos laminados, se procedió a conformar diferentes tipos de vigas rectas cuyas dimensiones eran 5 x 20 x 600 cm.

Los tipos elegidos fueron los siguientes:

Grupo 1 : 20 vigas confeccionadas con madera sin clasificación previa. Las piezas a usar fueron elegidas al azar de la partida de Pino insigne adquirida, simulando así lo que sucede en la actualidad en la mayoría de las fábricas de madera laminada que existen en el país.

Grupo 2 : 10 vigas fabricadas con madera clasificada en el

INFOR

Grado C, es decir el peor de los grados definidos en el párrafo 2.5.

Grupo 3 : 10 vigas fabricadas con madera clasificada en el Grado A, es decir el mejor de los grados definidos en 2.5.

Grupo 4 : 10 vigas fabricadas con madera clasificada en el Grado C, con excepción de las dos láminas exteriores (comprimida y traccionada) las que fueron constituidas con el Grado A.

Grupo 5 : 10 vigas fabricadas con madera clasificada en el Grado A, con excepción de la lámina exterior, ubicada en el borde traccionado, que estuvo constituida con madera libre de defectos.

Grupo 6 : 10 vigas fabricadas con madera clasificada en el Grado C, con excepción de la lámina exterior, ubicada en el borde traccionado, que estuvo constituida con madera libre de defectos.

Esta distribución de las láminas se incluye en la Figura Nº 10.

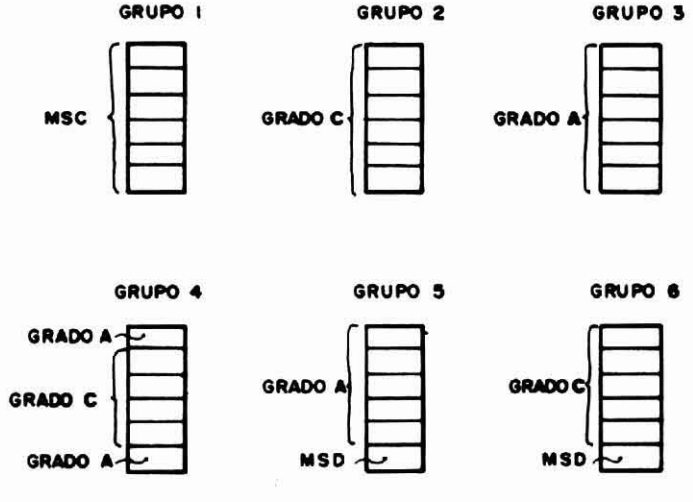


FIGURA Nº 10. Distribución de las láminas en los diferentes grupos de vigas definidos.

3.2 Materiales Usados

Como ya se ha mencionado la madera fue Pino insigne (Pinus radiata D. DON), se obtuvo del aserradero **MADEX S.A.** de INFORSA, en Nacimiento, y en el momento de su clasificación tenía las siguientes características físicas.

Dimensión	:	$1\frac{1}{2}$ " x 5" x 3,66 nominales.
Humedad promedio	:	9,4% ($H_{mín}$ = 7,9%; $H_{máx}$ = 12,9%).
Densidad promedio	:	472,6 Kg/m^3 (medida en base a masa y volumen determinados a un contenido de humedad medio de 9,4%).
Elaboración	:	Aserrada.
Cantidad de piezas	:	584

El adhesivo usado fue a base de resina sintética del tipo Urea-formaldehído de origen noruego.

Las vigas se fabricaron con seis láminas de aproximadamente 34 mm de espesor, uniendo piezas por sus extremos con uniones finger-joint para lograr el largo final de seis metros.

La distribución de las láminas se hizo siguiendo las especificaciones que para cada grupo se entrega en el párrafo 3.1 y Figura Nº 10.

3.3 Fabricación de las Vigas Laminadas

El proceso de fabricación se realizó en la Planta Piloto que el INSTITUTO FORESTAL posee en sus Laboratorios.

INFOR

Antes de proceder con el encolado, las láminas correspondientes a las vigas de los Grupos 2, 3, 4, 5 y 6 fueron examinadas con el fin de registrar los nudos y uniones de extremos que aparecían en la zona central de la viga, zona que abarcaba 30 cm a cada lado de la sección transversal central, ubicada ésta a 300 cm de cada extremo de la lámina.

Algunas características del proceso de fabricación son las siguientes:

Volumen de cada viga : 0,05 x 0,20 x 6 = 0,06 m^3
Madera ocupada para cada viga : 6 pulgadas pineras = 6 p.p.
Esparcido : Cantidad de adhesivo usada por m^2 de unión = 600 gr/m^2
Adhesivo ocupado por viga : 1,14 Kg
Presión : 5 Kg/cm^2
Tiempo de prensado : 8 horas (mín.)
Temperatura de prensado : ambiental
Contenido de humedad de la madera : 9,4% (promedio)
Maduración : 3 días
Madera ocupada : 100 p.p./m^3 terminado
Adhesivo ocupado : 19 Kg/m^3 terminado

Las vigas fabricadas se llevaron a las dimensiones finales mediante un cepillado realizado en las cuatro caras.

4.0 ENSAYO DE LAS VIGAS FABRICADAS

4.1 Método de Ensayo

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. La distancia entre las cargas

aplicadas fue de 120 cm, dejando así una separación entre cada reacción de apoyo y la carga más próxima de 235 cm. Ver Figura Nº 11.

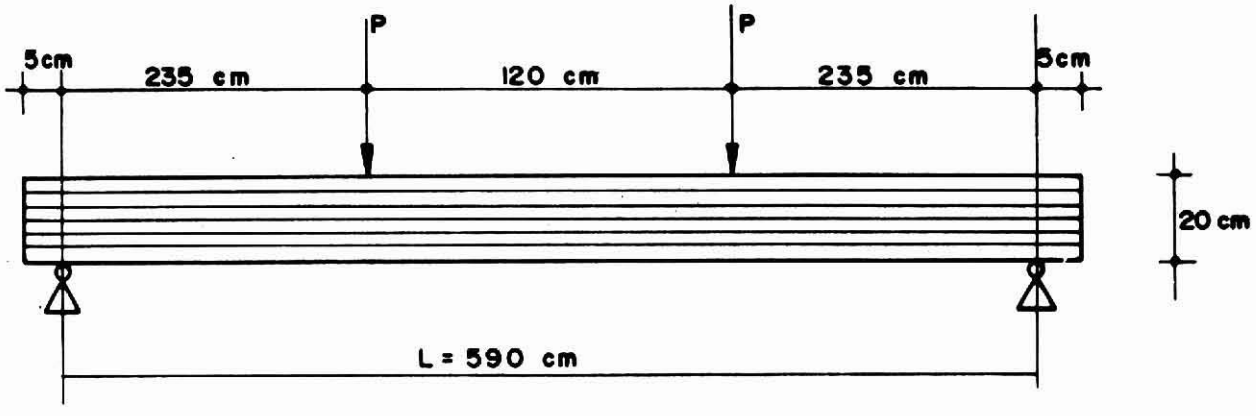


FIGURA Nº 11. Diagrama de Carga del Ensayo de Flexión.

Estas dimensiones proporcionan una razón luz/altura igual a 29,5 que asegura la falla por flexión de la viga, minimizando la posibilidad de una ruptura por cizalle horizontal.

Antes de colocar la viga en posición de carga ella fue medida, marcada y pesada. Se registraron con especial cuidado las dimensiones de las secciones transversales en los puntos de carga.

Para que los dispositivos y mecanismos usados en el ensayo quedasen en una posición segura, se aplicó a la viga una pequeña carga inicial antes que el ensayo se diera por iniciado.

Durante la aplicación de las cargas se tomaron lecturas de la deformación producida en el eje neutro justo en el centro de la luz de ensayo.

Después del ensayo de la viga se midió el contenido de humedad en cada lámina, en las proximidades de la zona de ruptura, usando un medidor eléctrico de humedad (xilohigrómetro).

Por último, se registró el tipo de falla en cada viga y se analizó la causa u origen de ella.

La TABLA Nº 5 muestra el formulario usado para hacer las anotaciones de los datos que se tomaron durante el ensayo de las vigas. En dicha Tabla se dibujó, además, el tipo de falla que se produjo en la ruptura del elemento, conjuntamente con la ubicación de los nudos que aparecían en las láminas y en el canto traccionado, con sus respectivos diámetros en mm.

4.2 Resultados Obtenidos

Para cada viga se determinaron las siguientes propiedades físicas: contenido de humedad y densidad.

El contenido de humedad se calculó como el prómedio de las seis determinaciones hechas con xilohigrómetro en cada una de las láminas que conformaban la viga.

La densidad se calculó en base a la masa y volumen medidos en el momento del ensayo. Para cada viga, ambos valores aparecen en la Tabla Nº 5.

De los datos experimentales medidos durante el ensayo de cada viga se calculó el módulo de ruptura (R_f) y el módulo de elasticidad en flexión (E_f).

El módulo de ruptura se determinó mediante la expre

TABLA Nº 5. REGISTRO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES.

ENSAYO DE FLEXION

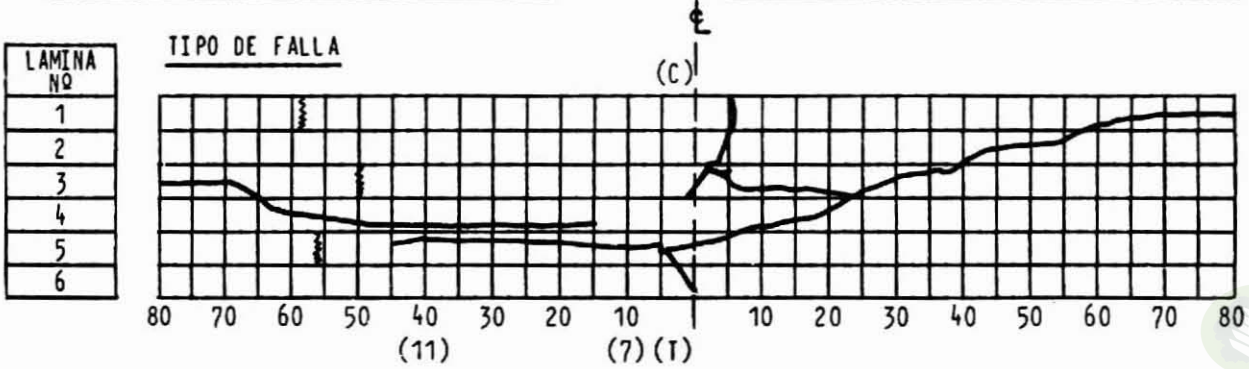
MATERIAL : Viga Laminada (Pino insigne)
INVESTIGACION : 7205
FECHA : 23/02/87

PROBETA Nº : 2 - 2 (Grupo 2 - Nº 2)
NORMA : ASTM
ESTADO : Seco (H ≈ 8,6%)

CARGA (Kg)	DEFORMACION (cm)
0	-
33,8	-
67,6	0,8ℓ
101,4	1,67
135,1	2,53
168,9	3,53
202,7	4,45
236,5	5,25
270,3	5,89
304,1	6,69
337,8	7,46
371,6	8,23
405,4	
439,2	
473,0	
CARGA MAX. O DE RUPTURA (Kg)	513,7

PROPIEDADES GEOMETRICAS Y FISICAS	
Ancho = b =	5 cm
Altura = h =	20 cm
Largo = L =	600 cm
Volumen = v =	0,06 m^3
DENSIDAD	
Peso = P =	27,780 Kg
Densidad = D =	463 Kg/m^3
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Lámina Nº	H %
1 (C)	7,8
2	8,7
3	9,0
4	8,9
5	8,9
6 (T)	8,3
PROMEDIO	8,6

TIPO DE FALLA



sión:

$$R_f = \frac{M_{máx}}{W}$$

en que :

R_f = módulo de ruptura

$M_{máx}$ = momento de flexión máximo = $235 \times P_{rupt}$ (Kg.cm)

W = módulo resistente a la flexión = $\frac{b \times h^2}{6}$ (cm^3)

P_{rupt} = carga de ruptura

b = ancho de la viga

h = altura de la viga

El módulo de elasticidad en flexión se calculó con la expresión:

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

en que :

E_f = módulo de elasticidad en flexión

P = carga aplicada (Ver Figura Nº 12)

a = 235 cm (Ver Figura Nº 11)

L = luz de ensayo = 590 cm (Ver Figura Nº 11)

I = momento de inercia = $\frac{bh^3}{12}$

b = ancho de la viga

h = altura de la viga

δ = deformación en el centro de la luz medida para la carga P (Ver Figura Nº 12)

En la Figura Nº 12 se incluyen gráficos carga-deforma

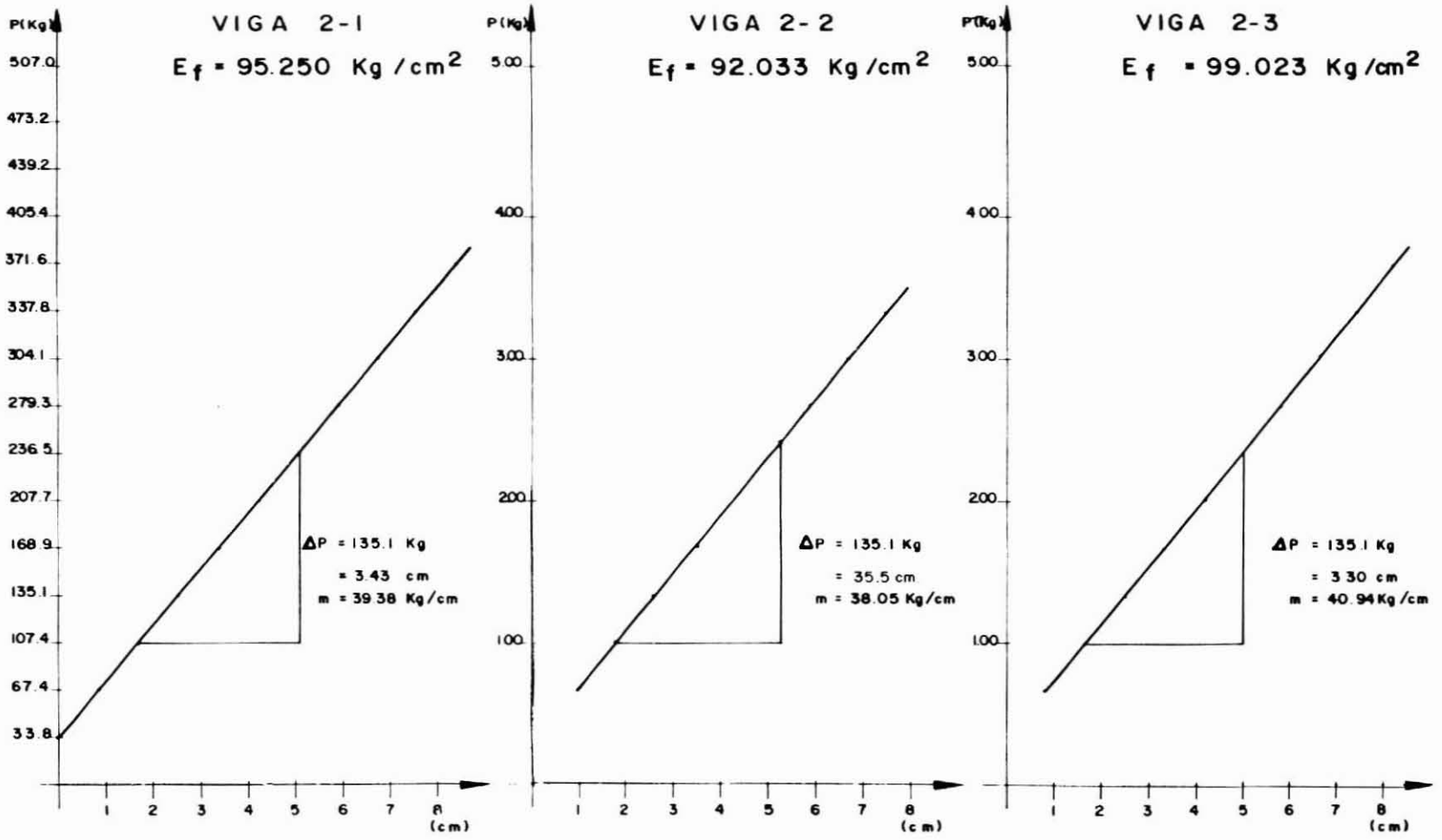


FIGURA Nº 12. Pendientes de recta carga (P) versus deformación (δ).

ción con los cuales se obtuvo el valor de P/δ.

El resumen de los datos experimentales calculados para los seis grupos o tipos de vigas laminadas ensayadas aparece en las TABLA Nº 6 a Nº 11.

TABLA Nº 6. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 1. VIGAS CON MADERA SIN CLASIFICAR.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
	1	13,3	479	324,3	90.157
	2	11,3	483	260,2	86.203
	3	11,4	512	356,4	77.503
	4	11,1	506	317,2	78.690
	5	11,2	503	424,1	111.510
	6	11,1	469	317,2	85.016
	7	10,9	465	221,0	78.690
	8	11,9	458	203,0	67.834
	9	11,6	476	345,6	75.862
1	10	12,0	461	343,4	84.692
	11	11,9	483	298,8	83.890
	12	11,6	465	288,0	85.495
	13	11,3	479	343,4	84.692
	14	12,0	488	226,1	72.651
	15	11,4	482	302,4	101.551
	16	12,3	492	381,6	87.502
	17	12,2	479	231,1	77.871
	18	12,6	491	299,5	84.692
	19	12,2	490	265,7	90.312
	20	12,1	520	342,7	85.495

INFOR

TABLA Nº 7. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 2. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO C.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
2	1	9,0	475	767,0	95.250
	2	8,6	463	362,4	92.033
	3	8,6	433	336,3	99.023
	4	9,1	437	207,3	88.797
	5	8,8	448	221,4	84.876
	6	8,9	439	383,5	100.237
	7	8,9	447	402,6	114.658
	8	8,9	466	209,4	92.047
	9	8,9	434	238,3	79.700
	10	9,9	446	326,4	92.047

TABLA Nº 8. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 3. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO A.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
3	1	10,1	518	519,4	130.709
	2	10,0	514	474,5	130.709
	3	9,5	532	460,7	155.525
	4	9,4	532	571,8	145.221
	5	9,5	518	517,5	116.704
	6	8,5	510	619,7	142.077
	7	8,6	540	402,6	151.994
	8	8,9	518	381,4	137.288
	9	9,0	501	616,9	151.994
	10	9,2	528	547,8	145.221

INFOR

TABLA Nº 9. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 4. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADOS C Y GRADO A.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
4	1	8,2	482	394,4	120.118
	2	8,1	467	524,5	123.307
	3	7,8	481	529,7	132.979
	4	8,3	482	462,8	121.929
	5	8,0	477	441,1	134.129
	6	8,4	475	539,5	129.292
	7	8,3	482	464,9	120.118
	8	8,0	467	519,6	121.929
	9	8,0	464	472,0	119.681
	10	8,2	502	542,3	131.937

TABLA Nº 10. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 5. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO A Y LAMINA TRACCIONADA CON MADERA LIBRE DE DEFECTOS.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
5	1	9,7	515	412,4	135.038
	2	9,0	522	593,6	140.238
	3	8,7	524	449,6	140.318
	4	8,7	519	393,4	139.053
	5	8,6	520	240,7	142.977
	6	8,6	517	401,4	140.318
	7	8,4	518	309,5	126.645
	8	8,8	526	401,4	135.821
	9	9,8	516	372,2	139.441
	10	8,6	518	540,6	138.417

INFOR

TABLA Nº 11. DATOS EXPERIMENTALES PARA EL GRUPO Nº 6. VIGAS CON MADERA CLASIFICADA EN GRADO C Y LAMINA TRACCIONADA CON MADERA LIBRE DE DEFECTOS.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	CONT. DE HUMEDAD %	DENSIDAD Kg/m³	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
6	1	7,8	456	221,8	106.769
	2	8,8	462	471,8	110.992
	3	8,7	451	393,7	116.639
	4	9,0	461	401,4	106.941
	5	8,0	476	228,9	110.992
	6	8,9	466	460,0	114.971
	7	8,9	466	476,6	115.471
	8	9,3	454	471,8	108.394
	9	8,8	468	353,9	98.434
	10	8,7	459	312,3	98.128

5.0 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LAS VIGAS FABRICADAS

Para realizar un confiable análisis estadístico de los resultados obtenidos fue necesario ajustar tales valores a condiciones comunes de contenido de humedad, distribución de carga y razón luz/altura de modo que éstas coincidan con las condiciones normalizadas con las cuales generalmente se entregan estas propiedades resistentes para el diseño.

5.1 Ajuste de los Valores Experimentales Obtenidos

Con el fin de comparar entre sí los valores obtenidos en los diferentes grupos, ellos se ajustaron de acuerdo al siguiente criterio:

INFOR

5.1.1 Ajuste del Módulo de Ruptura (R_f)

El módulo de ruptura fue ajustado por:

i) Contenido de humedad: Llevando los valores de resistencia obtenidos experimentalmente, a una humedad de 12% de acuerdo a las especificaciones dadas en Norma ASTM D 2915.

ii) Distribución de carga: Llevando los valores de resistencia determinados con dos cargas puntuales simétricas a valores equivalentes para carga uniformemente repartida en toda la luz. De acuerdo a la Norma ASTM D 3737 el factor de ajuste es 0,97.

iii) Razón luz/altura: Llevando los valores experimentales de resistencia determinados con la razón luz/altura igual a 29,5 a valores de resistencia para una razón luz / altura igual a 21, que es la adoptada para las tensiones admisibles que se entregan en las normas y Manuales de Cálculo. De acuerdo a la Norma AITC 117-84 del American Institute of Timber Construction, el factor de ajuste es 0,98.

5.1.2 Ajuste del Módulo de Elasticidad (E_f)

El módulo de elasticidad determinado experimentalmente fue ajustado a un contenido de humedad de 12% siguiendo las especificaciones de ASTM D 2915, además se hizo un ajuste por distribución de carga (0,97) y otro por razón luz/altura (0,98).

5.1.3 Presentación de los Valores Experimentales Ajustados

Los valores de R_f y E_f ajustados para un contenido de humedad igual a 12%, en vigas de 30 cm de altura y razón luz/al

tura igual a 21, solicitadas con cargas uniformemente distribuidas son, para los diferentes grupos, los que se incluyen en las TABLAS Nº 12 y Nº 13, en las cuales se entrega, además el valor medio, rango, desviación estándar y coeficiente de variación para el grupo.

TABLA Nº 12. DATOS AJUSTADOS PARA EL GRUPO Nº 1. VIGAS CON MADERA SIN CLASIFICAR.

GRUPO Nº	PROBETA Nº	MODULO DE RUPTURA Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm²
1	1	318,5	87.601
	2	243,2	81.000
	3	333,9	72.945
	4	295,0	73.697
	5	395,4	104.607
	6	295,0	79.622
	7	204,0	73.456
	8	192,5	64.376
	9	325,3	71.637
	10	326,4	80.508
	11	283,3	79.613
	12	271,1	80.733
	13	320,9	79.580
	14	214,9	69.062
	15	283,3	95.579
	16	365,5	83.597
	17	220,8	74.272
	18	289,0	81.321
	19	253,8	86.138
	20	326,6	81.407
Valor medio (Kg/cm²)		287,9	80.038
Rango		192,5 - 395,4	64.376 - 104.607
Desviación Estándar (Kg/cm²)		54,1	9.065
Coeficiente de variación (%)		18,8	11,3

INFOR

TABLA Nº 13. DATOS AJUSTADOS PARA GRUPOS Nº 2, Nº 3, Nº 4, Nº 5 Y Nº 6.

BETA Nº	GRUPO Nº 2		GRUPO Nº 3		GRUPO Nº 4		GRUPO Nº 5		GRUPO Nº 6	
	R_f (Kg/cm²)	E_f (Kg/cm²)	R_f (Kg/cm²)	E_f (Kg/cm²)	R_f (Kg/cm²)	E_f (Kg/cm²)	R_f (Kg/cm²)	E_f (Kg/cm²)	R_f (Kg/cm²)	E_f (Kg/cm²)
1	678,5 *	86.192	472,0	120.497	342,8	107.383	371,0	123.628	191,1	94.855
2	317,8	82.795	429,5	120.186	454,8	110.062	525,4	126.962	415,7	100.167
3	294,9	89.083	439,4	141.928	456,3	118.140	395,2	126.433	346,1	105.097
4	183,7	80.468	511,1	132.377	403,2	109.173	345,8	125.293	355,3	96.817
5	194,9	76.562	463,1	106.467	381,7	119.534	211,1	128.625	198,1	98.915
6	338,8	90.633	542,5	127.654	463,2	115.948	352,1	126.233	406,2	103.922
7	355,5	103.639	352,8	136.651	405,0	107.552	270,2	113.574	420,9	104.374
8	184,9	83.201	336,8	124.094	449,6	108.662	353,7	122.574	420,5	98.602
9	210,4	72.041	545,4	137.496	408,4	106.658	335,6	127.864	311,8	88.834
10	294,7	84.473	487,1	131.892	471,3	117.949	474,1	124.523	274,5	88.418
DIO	264,0	84.766	458,0	127.924	423,6	112.106	363,4	124.571	334,0	98.000
	183,7 - 355,5	72.041 - 103.639	336,8 - 545,4	106.467 - 141.928	342,8 - 471,3	106.658 - 119.534	211,1 - 525,5	113.574 - 128.625	191,1 - 420,9	88.418 - 105.097
ACION IDAR	69,9	9.106	71,2	10.486	41,9	5.141	90,0	4.289	88,5	5.954
CIENTE C. (%)	26,5	10,7	15,5	8,2	9,9	4,6	24,8	3,4	26,5	6,1

* Valor eliminado como improbable de acuerdo a Norma ASTM D 178-GIT.

INFOR

5.2 Comparación entre los Resultados Obtenidos para los Diferentes Grupos de Vigas Fabricadas

5.2.1 Método Estadístico Usado en la Comparación

Los diferentes grupos definidos en este estudio se compararán entre sí usando la prueba de STUDENT, la cual confronta dos muestras y decide si las medias de las poblaciones a las cuales pertenecen dichas muestras son iguales.

El resumen de dicha prueba es el siguiente:

Hipótesis : $\mu_1 = \mu_2$ (Las medias poblacionales son iguales)

Parámetro de la Prueba : t (t de STUDENT)

El procedimiento contempla el cálculo de:

$$t_c = \frac{|\overline{X} - \overline{Y}|}{\sqrt{s^2 \left(\frac{1}{N_X} + \frac{1}{N_y}\right)}}$$

en que :

$$s^2 = \frac{(N_X - 1)\, s_x^2 + (N_2 - 1)\, s_y^2}{N_X + N_y - 2}$$

y en donde :

$\overline{X}$ = media de la muestra X_i

Y = media de la muestra Y_i

N_X = número de valores de muestra X_i

N_y = número de valores de muestra Y_i

$\nu = N_x + N_y - 2$ = grados de libertad

t_c = t de STUDENT calculada

t_t = t de STUDENT tabulada

Si :

$t_c > t_t$ → Se rechaza la hipótesis de la prueba

$t_c < t_t$ → Se acepta la hipótesis de la prueba

5.2.2 Vigas Laminadas Fabricadas con Madera sin Clasificar frente a Vigas hechas con Madera Clasificada

Uno de los objetivos de este estudio es determinar si el proceso de clasificación de la madera a usar en elementos laminados tiene una importancia significativa en la resistencia de los elementos resultantes. Para dilucidar lo anterior se procedió a comparar la muestra formada por las vigas del Grupo Nº 1 (madera sin clasificar) con cada uno de los grupos restantes, en los cuales intervienen láminas constituidas con madera clasificada.

La aplicación y el resultado de la prueba de STUDENT se incluye en la TABLA Nº 14.

Conclusión 1 : Las vigas laminadas fabricadas con madera sin clasificar sólo son comparables con aquéllas que se conforman con el peor grado de calidad definido en este estudio (Grado C) resultando éstas con una resistencia media de ruptura por flexión menor (9%) que la resistencia media de ruptura obtenida en vigas hechas con madera sin clasificar. En todos los casos restantes, las

vigas constituidas con madera clasificada resultan mayores resistencias a la ruptura.

Conclusión 2 : El E_f obtenido en vigas laminadas, fabricadas con madera sin clasificar resulta menor que aquéllos obtenidos en vigas conformadas con madera clasificada y sólo resulta comparable con el E_f determinado en vigas hechas con el peor grado de calidad definido (Grado C).

Conclusión General : Es importante clasificar la madera que se destine a laminados. La mayor resistencia y rigidez que se logra con la incorporación de esta actividad al proceso de fabricación así lo establece y demuestra. (Ver Figura Nº 13).

TABLA Nº 14. COMPARACION DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA SIN CLASIFICAR CON EL RESTO DE LOS GRUPOS (METODO DE COMPARACION : t DE STUDENT).

PROPIEDAD	COMPARACION ENTRE	GRADO DE LIBERTAD	t_{calc}	t_{tab}	HIPOTESIS $\mu_1 = \mu_2$
R_f (MODULO DE RUPTURA)	Grupo 1 vs Grupo 2	27	1,007	1,703	A
	Grupo 1 vs Grupo 4	28	6,936	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 5	28	1,774	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 3	28	7,304	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 6	28	2,877	1,701	R
E_f (MODULO DE ELASTICIDAD)	Grupo 1 vs Grupo 2	27	1,298	1,703	A
	Grupo 1 vs Grupo 4	28	10,329	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 5	28	5,659	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 3	28	12,954	1,701	R
	Grupo 1 vs Grupo 6	28	14,642	1,701	R

A : Aceptada; R : Rechazada.

INFOR

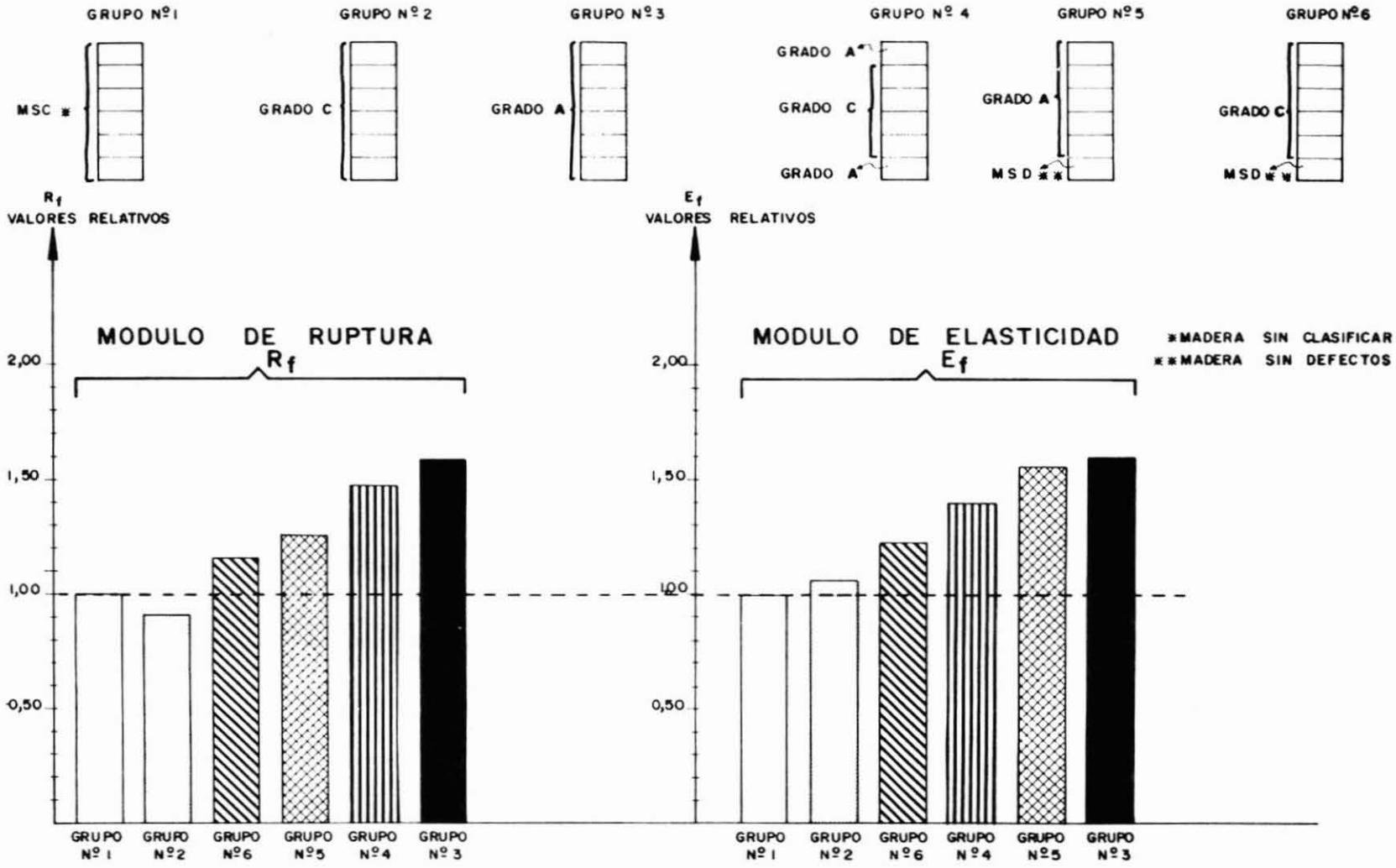


FIGURA Nº 13. Comparación madera sin clasificar con los otros grupos.

INFOR

En la Figura Nº 13 se grafican los resultados obtenidos en la prueba de STUDENT incluidos en la **Tabla** Nº 14. En esta Figura se ha dado el valor relativo 1,00 a los valores del R_f y E_f obtenidos para el Grupo Nº 1 (vigas fabricadas con madera sin clasificar). El resto de los grupos se han ubicado en orden creciente desde izquierda a derecha.

5.2.3 Comparación de los Grupos de Vigas Fabricadas con Madera Clasificada

En la TABLA Nº 15 se incluye la prueba de STUDENT aplicada a los resultados obtenidos en los grupos de vigas conformados con madera clasificada, comparados entre sí.

El resultado de esta prueba se puede visualizar en la Figura Nº 13.

Conclusiones : El detalle completo de las conclusiones que se pueden deducir de esta prueba se incluyen en el Capítulo CONCLUSIONES. Sin embargo, aquí conviene destacar algunas de ellas:

i) Los valores más altos de resistencia a la ruptura y de rigidez se obtienen en vigas fabricadas con madera clasificada según el mejor grado definido en este estudio (Grupo Nº 3). Ellos superan en un 73,5% la resistencia media de ruptura y en 50,9% la rigidez media de vigas conformadas con madera perteneciente al peor grado (Grupo Nº 2).

INFOR

TABLA Nº 15. COMPARACION DE LOS GRUPOS DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA CLASIFICADA.

PROPIEDAD	COMPARACION ENTRE	GRADOS DE LIBERTAD	t_{calc}	t_{tab}	HIPOTESIS $\mu_1 = \mu_2$
R_f (MODULO DE RUPTURA)	Grupo 2 vs Grupo 3	17	5, 982	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 4	17	6, 111	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 5	17	2, 666	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 6	17	1, 898	1, 740	R
	Grupo 3 vs Grupo 4	18	1, 316	1, 734	A
	Grupo 3 vs Grupo 5	18	2, 606	1, 734	R
	Grupo 3 vs Grupo 6	18	3, 452	1, 734	R
	Grupo 4 vs Grupo 5	18	1, 917	1, 734	R
	Grupo 4 vs Grupo 6	18	2, 893	1, 734	R
	Grupo 5 vs Grupo 6	18	0, 737	1, 734	A
E_f (MODULO DE ELASTICIDAD)	Grupo 2 vs Grupo 3	17	9, 526	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 4	17	8, 172	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 5	17	12, 407	1, 740	R
	Grupo 2 vs Grupo 6	17	3, 789	1, 740	R
	Grupo 3 vs Grupo 4	18	4, 283	1, 734	R
	Grupo 3 vs Grupo 5	18	0, 936	1, 734	A
	Grupo 3 vs Grupo 6	18	7, 847	1, 734	R
	Grupo 4 vs Grupo 5	18	5, 887	1, 734	R
	Grupo 4 vs Grupo 6	18	5, 671	1, 734	R
	Grupo 5 vs Grupo 6	18	11, 451	1, 734	R

A : Aceptada; R : Rechazada.

ii) Las vigas fabricadas con láminas conformadas con madera clasificada en el peor grado definido en este estudio, a excepción de las dos láminas exteriores (zona traccionada y comprimida) las que se obtienen con madera del mejor grado (Grupo Nº 4) resultan con una resistencia media a la ruptura que no es significativamente diferente de aquéllas incluidas en el Grupo Nº 3, (fabricadas con todas las láminas hechas con madera proveniente del mejor grado).

Para estos dos grupos la rigidez de las vigas perteneciente al Grupo Nº 3 es significativamente mayor que la del Grupo Nº 4.

iii) La inclusión de una lámina exterior (traccionada) confeccionada con madera libre de defectos en una viga armada con láminas fabricadas con el mejor grado (Grupo Nº 5) no mejora la resistencia media de ruptura de vigas conformadas con láminas hechas con el mejor grado (Grupo Nº 3).

Para estos dos grupos la rigidez no resulta significativamente diferente, aún cuando el valor medio obtenido para el E_f del Grupo Nº 3 es un 2,7% mayor que el correspondiente al Grupo Nº 5.

iv) La inclusión de una lámina confeccionada con madera libre de defectos en una viga

armada con láminas fabricadas con el peor grado (Grupo Nº 6) mejora significativamente la resistencia media de ruptura y la rigidez media de vigas conformadas con láminas hechas con el peor grado (Grupo Nº 2).

v) La más alta resistencia media de ruptura y rigidez media de vigas en las cuales predominan las láminas fabricadas con madera clasificada según el peor grado (Grupos Nº 2, Nº 4 y Nº 6), se logra disponiendo dos láminas externas confeccionadas con el mejor grado propuesto en este estudio (Grupo Nº 4), lo cual resulta, además, económico.

De acuerdo a los antecedentes entregados por la prueba de STUDENT se concluye que los grupos para los cuales conviene deducir las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad medio son los siguientes:

a) Grupo Nº 2: Con láminas confeccionadas con madera del Grado C.

b) Grupo Nº 3: Con láminas confeccionadas con madera del Grado A.

c) Grupo Nº 4: Con láminas interiores confeccionadas con madera del Grado C y láminas exteriores (una en la zona comprimida y otra en la zona traccionada) conformadas con madera del Grado A.

d) Grupo Nº 6: Con láminas confeccionadas con madera del Gra

do C con excepción de la lámina exterior traccionada que se forma con madera libre de defectos.

6.0 TENSIONES ADMISIBLES Y MODULO DE ELASTICIDAD MEDIO PARA VIGAS DE MADERA LAMINADA SOMETIDAS A FLEXION

6.1 Procedimiento General

Para deducir las tensiones admisibles a ser aplicadas en vigas de madera laminada se usará el método que contempla el ensayo de piezas en tamaño estructural.

El procedimiento exige:

i) Definir la población de referencia. Para el caso que interesa la población queda definida por las características de los grupos elegidos en 5.2.3, a saber: Grupo Nº 2, Nº 3, Nº 4 y Nº 6.

ii) Extraer una muestra representativa de esta población de referencia constituida por vigas a escala real. En este estudio las muestras están formadas, en cada grupo, por 10 vigas de 5 x 20 x 600 cm.

iii) Realizar ensayos estandarizados y de los resultados obtener el valor mínimo probable que confiablemente supere el 95% de los valores de resistencia que pueda entregar la población.

Lo anterior se aplica sólo a los valores obtenidos para el módulo de ruptura, pues el módulo de elasticidad en

flexión se proporciona a través de su valor medio (promedio).

iv) La tensión admisible se obtiene dividiendo el valor mínimo probable determinado para cada grado por un factor de carga que refleje la relación entre una carga de pocos minutos de duración (carga de ensayo) y la carga de duración prolongada (tensión admisible) agregándole, además, otro factor que es elegido para considerar sobrecargas accidentales (factor de seguridad).

6.2 Procedimiento Usado

En la estimación del valor mínimo probable se asumió que la población de referencia tiene una distribución log-normal. Esta hipótesis se aceptó en base a resultados obtenidos en investigaciones similares realizadas en el Forest Products Laboratory de Madison, Wisconsin, EE.UU.

Para tal distribución se ha encontrado aceptable determinar el valor mínimo probable mediante la expresión:

$$R_{mín} = \overline{R} - K \cdot s_R$$

en que :

$\overline{R}$ = resistencia media de la muestra

s_R = desviación estándar de la muestra

K = factor estadístico usado para estimar la percentila de 5% con una confiabilidad de 75%.

$R_{mín}$ = valor mínimo probable que con una confiabilidad de 75% supera el 95% de las resistencias que se

pueden obtener en la población de referencia.

Para los tamaños de muestras usadas en este estudio el valor de K es:

Tamaño Muestra	Valor de K
9	2,141
10	2,103
20	1,933

En la determinación del factor de carga "C" necesario para determinar la tensión admisible de flexión se usará:

$$C = 2,1$$

Valor ampliamente usado en la industria de madera de Estados Unidos para reducir los valores mínimos probables, obtenidos de los resultados de ensayos, al nivel de tensiones admisibles, las cuales deben contemplar cargas de larga duración y una sobrecarga accidental.

6.3 Valores Obtenidos para las Tensiones Admisibles y el Módulo Elástico Medio

En la TABLA Nº 16 se señalan las diferentes etapas seguidas y los resultados obtenidos para las tensiones admisibles de los grupos seleccionados.

INFOR

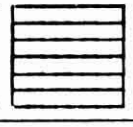
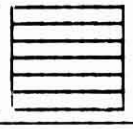
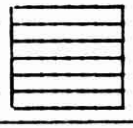
TABLA Nº 16. TENSIONES ADMISIBLES OBTENIDAS.

GRUPO Nº	TAMAÑO DE LA MUESTRA	FACTOR ESTADISTICO K	$R_{min.}$ * Kg/cm²	FACTOR DE CARGA C	TENSION ADMISIBLE Kg/cm²
2	9	2, 141	114, 3	2, 1	54, 4
3	10	2, 103	308, 3	2, 1	147, 0
4	10	2, 103	335, 4	2, 1	160, 0
6	10	2, 103	147, 8	2, 1	70, 4

* Obtenido con los valores dados en Tabla Nº.13.

El resumen de los valores de tensión admisible y de módulo de elasticidad que se asignarán a los grupos definidos en 5.2.3 se incluye en la TABLA Nº 17.

TABLA Nº 17. TENSIONES ADMISIBLES DE FLEXION Y MODULOS DE ELASTICIDAD MEDIO EN FLEXION ASIGNADAS A LOS GRUPOS SELECCIONADOS.

GRUPO Nº	DISTRIBUCION DE LAS LAMINAS	TENSION ADMISIBLE DE FLEXION Kg/cm²	MODULO DE ELASTICIDAD MEDIO EN FLEXION Kg/cm²
2	GRADO C 	54, 4	84.766
3	GRADO A 	147, 0	127.924
4	GRADO A GRADO C GRADO A 	160, 0	112.106
6	GRADO C MSD * 	70, 4	98.000

* MSD : Madera sin defectos.

Las tensiones admisibles y los módulos de elasticidad así determinados se aplican cuando las cargas son permanentes (mayores o iguales a 10 años), para un contenido de humedad de la madera igual a 12% y temperaturas ambientales de 21°C. La tensión admisible de flexión es aplicable a vigas rectas de 30 cm de altura con cargas uniformemente repartidas y una razón luz/altura igual a 21.

6.4 Discusión de los Valores Obtenidos

La actual Norma NCh 1198 "Madera. Construcciones en Madera. Cálculo" presenta un procedimiento de cálculo para elementos laminados mediante el cual se obtienen los siguientes valores para la tensión admisible de flexión y para el módulo elástico medio:

$$\text{T. Admisible} = \text{T. Básica} \times RR \times FM$$

$$\overline{E}_f = E_f \text{ básico} \times FM$$

en que :

T. Básica = tensión básica determinada para el estado seco (H = 12%) en probetas normalizadas libres de defectos.

RR = razón de resistencia

FM = factor de modificación por laminación

E_f básico = módulo elástico medio obtenido para el estado seco (H = 12%) en probetas normalizadas libres de defectos.

Aplicando los valores que dicha norma entrega para el Pino insigne se obtiene:

$$\text{T. Admisible} = 212 \times 0,5 \times 1,1 = 116,6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\overline{E}_f = 85.200 \times 1,2 = 102.240 \text{ Kg/cm}^2$$

Estos valores son válidos cuando se lamina con madera clasificada en un grado único definido por la razón resistencia (cuociente entre la resistencia de madera con los defectos que el grado acepta y la resistencia de la madera libre de defectos) igual a 0,5.

Contenido de humedad al cual se aplica este valor: 12%.

La razón de resistencia señalada involucra las especificaciones siguientes:

a) No se acepta : Acebolladura, Médula, Perforación, Pudrición y Arista Faltante.

b) Se acepta : Agujero y/o Nudo Suelto, Bolsillo de Corteza y/o Resina, Nudos en Grupo y Nudos en Racimo, considerando cada defecto o nudo en forma individual y limitándolo según su ubicación en la pieza, utilizando los valores dados para los nudos (ver puntos d, e y f).

c) Se acepta : Desviación de fibra con una magnitud de hasta 1 en 8.

d) Se acepta : Nudo en la Arista y Nudo en el borde de la cara con dimensiones (en la cara) de hasta 0,30 a.

e) Se acepta : Nudo en la Arista, Nudo en el Canto, Grie

tas y Rajaduras con dimensiones (en el canto) de hasta 0,50 e.

f) Se acepta : Nudo en la zona central de la cara con dimensiones no mayores de 0,50 a.

NOTA: a = ancho de la cara; e = espesor del canto.

Este tipo de clasificación se ha considerado complejo y no tuvo acogida entre los usuarios de madera estructural. Además, no considera la real posición de la pieza de madera en los elementos laminados, es decir con carga aplicada en la cara. Dicha clasificación se planteó para madera aserrada y cepillada usada con carga en los cantos por lo que su aplicación a la madera aserrada resulta improcedente. Se incluyó en la norma NCh 1198 sólo para llenar el vacío existente por falta de información adecuada.

Si se comparan estos valores con los que entrega el presente estudio (Tabla Nº 17) se observa que aquéllos son superiores a los obtenidos para los Grupos Nº 2 y Nº 6 (fabricados con madera Grado C) pero inferiores a los asignados a Grupos Nº 3 y Nº 4, en los cuales se incluye madera clasificada en Grado A. El procedimiento planteado por la norma NCh 1198 entrega valores confiables a pesar de su inexactitud.

De los cuatro grupos que entrega la Tabla Nº 17 el más atractivo por su economía y simplicidad es el Grupo Nº 4, dado que en él los $^{2}/_{3}$ de las láminas están conformadas con madera clasificada según el peor grado de los definidos en este estudio y ello involucra un bajo costo y facilidad para encontrar la madera con las características requeridas. Por otra parte, el

INFOR

Grupo Nº 4 presenta valores bajos del coeficiente de variación, tanto para el módulo de ruptura como para el módulo elástico, lo que permite por una parte, asignar una tensión admisible elevada y obtener, además, un módulo de elasticidad confiable, basado principalmente en su baja dispersión (ver Tabla Nº 13).

Se observa la necesidad de realizar ensayos de vigas laminadas fabricadas con madera clasificada con el Grado B y de aumentar el número de combinaciones entre grados, como por ejemplo conformando vigas con láminas del Grado C en el centro y láminas con Grado B en el exterior, o vigas con láminas del Grado C y una lámina, en zona traccionada, perteneciente al Grado A o Grado B.

7.0 CONCLUSIONES

7.1 Respecto al Uso de Madera Clasificada

7.1.1 El uso de madera clasificada en el proceso de fabricación de madera laminada involucra, en general, una mayor resistencia y rigidez de los elementos laminados.

7.1.2 Los grados de calidad que se han definido en este estudio para la madera a usar en laminados y que han dado buenos resultados experimentales de resistencia y rigidez en vigas fabricadas con ellos, son los siguientes:

Grado A : Piezas de madera con un módulo de elasticidad (E_f) no menor de 106.000 Kg-f/cm^2.

Grado B : Piezas de madera con E_f comprendidos entre: 106.000 y 90.000 Kg/cm^2, es decir:

INFOR

106.000 Kg/cm² > E_f ⩾ 90.000 Kg-f/cm².

Grupo C : Piezas de madera con E_f comprendidos entre 90.000 y 40.000 Kg/cm², es decir:
90.000 Kg-f/cm² > E_f ⩾ 40.000 Kg-f/cm².

Estas especificaciones involucran una clasificación mecánica de la madera destinada a la fabricación de elementos laminados.

7.1.3 Si no se cuentan con los medios para efectuar tal clasificación mecánica, el agrupamiento de las piezas se puede lograr con una clasificación visual siguiendo las especificaciones dadas en el punto 2.5.2.

7.1.4 Las vigas laminadas fabricadas con madera sin clasificar, identificadas como Grupo Nº 1, sólo son comparables con aquéllas del Grupo Nº 2 que se conforman con el peor grado de calidad definido en este estudio (Grado C) resultando éstas con una resistencia media de ruptura por flexión 9% menor que la resistencia media de ruptura obtenida en vigas hechas con madera sin clasificar. En todos los casos restantes, las vigas constituidas con madera clasificada resultan con resistencias a la ruptura significativamente mayores.

7.1.5 El valor medio del módulo de elasticidad en flexión (E_f) obtenido en vigas laminadas fabricadas con madera sin clasificar resulta significativamente menor que aquéllos obtenidos en vigas conformadas con madera clasificada, resultando comparable sólo con el E_f determinado

INFOR

en vigas hechas con el peor grado de calidad definido (Grado C).

7.2 Respecto a las Vigas Formadas con Madera Clasificada en el Grado C

7.2.1 Las vigas del Grupo Nº 2, formadas con láminas constituidas con madera clasificada según el peor grado de calidad (Grado C), tienen propiedades resistentes y rigideces significativamente menores a las obtenidas en los otros grupos de vigas formadas con madera clasificada (Grupo Nº 3, Nº 4, Nº 5 y Nº 6). Ver TABLA Nº 18.

TABLA Nº 18. COMPARACION DE VIGAS FABRICADAS CON MADERA GRADO C CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA.

COMPARACION DE		PARA LA PROPIEDAD			OBSERVACION
	CON	MODULO DE RUPTURA	MODULO ELASTICO	TENSION ADMISIBLE	
GRUPO 2	GRUPO 3	$R_2 < R_3$ * (73,5%)	$E_2 < E_3$ (50,9%)	$TA_2 < TA_3$ (70,2%)	Entre paréntesis va el porcentaje de incremento del valor mayor por sobre el valor menor.
	GRUPO 4	$R_2 < R_4$ (60,5%)	$E_2 < E_4$ (32,3%)	$TA_2 < TA_4$ (194,1%)	
	GRUPO 5	$R_2 < R_5$ (37,7%)	$E_2 < E_5$ (47,0%)	**	
	GRUPO 6	$R_2 < R_6$ (26,5%)	$E_2 < E_6$ (15,6%)	$TA_2 < TA_6$ (29,4%)	

* Se debe entender que el Módulo de Ruptura medio obtenido en el Grupo Nº 3 es un 73,5% mayor que el correspondiente al Grupo Nº 2.

** Para el Grupo Nº 5 no se consideró de interés obtener el valor de la Tensión Admisible, debido a que es una combinación de láminas poco probable.

INFOR

7.3 Respecto a las Vigas Formadas con Madera Clasificada en el Grado A

7.3.1 Las vigas del Grupo Nº 3, formadas con láminas constituidas con madera clasificada según el mejor grado de calidad (Grado A), tienen un módulo de ruptura medio que es significativamente mayor a los obtenidos en los Grupos Nº 5 y Nº 6. En cambio el módulo elástico medio de estas vigas es significativamente mayor que los obtenidos en los Grupos Nº 4 y Nº 6. Ver TABLA Nº 19.

TABLA Nº 19. COMPARACION ENTRE VIGAS FABRICADAS CON MADERA GRADO A CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA.

COMPARACION DE		PARA LA PROPIEDAD			OBSERVACION
	CON	MODULO DE RUPTURA	MODULO ELASTICO	TENSION ADMISIBLE	
GRUPO 3	GRUPO 4	$R_3 > R_4$* (8,1%)	$E_3 > E_4$ (14,1%)	$TA_3 < TA_4$ (8,8%)	Entre paréntesis va el porcentaje de incremento del valor mayor por sobre el valor menor.
	GRUPO 5	$R_3 > R_5$ (26,0%)	$E_3 > E_5$* (2,7%)	**	
	GRUPO 6	$R_3 > R_6$ (37,1%)	$E_3 > E_6$ (30,5%)	$TA_3 > TA_6$ (108,8%)	

* Las medias no tienen una diferencia significativa. (Afirmación determinada con una probabilidad del 95%).

** Para el Grupo Nº 5 no se consideró de interés obtener el valor de la Tensión Admisible debido a que es una combinación de láminas poco probable.

INFOR

7.3.2 No existe diferencia significativa entre el módulo de ruptura obtenido en vigas pertenecientes al Grupo Nº 3 (con láminas del Grado A) y el correspondiente al Grupo Nº 4 (combinación de láminas A y C). Ver Tabla Nº 19.

7.3.3 No existe diferencia significativa entre el módulo elástico obtenido en vigas pertenecientes al Grupo Nº 3 (con láminas del Grado A) y el correspondiente al Grupo Nº 5 (combinación de láminas tipo A con una lámina libre de defectos, ubicada en la zona traccionada. Ver Tabla Nº 19.

7.4 Respecto a las Vigas Formadas Combinando Láminas del Grado A (en cantos) y del Grado C (en el centro)

7.4.1 Las vigas del Grupo Nº 4 formadas combinando láminas del Grado A (en cantos) y del Grado C (en el centro) tienen un módulo de ruptura que es significativamente mayor a los obtenidos en los Grupos Nº 5 y Nº 6. En cambio el módulo elástico medio del Grupo Nº 4 resulta significativamente menor que el obtenido en el Grupo Nº 5 y significativamente mayor que el correspondiente al Grupo Nº 6. Ver TABLA Nº 20.

7.5 Respecto a las Tensiones Admisibles y al Módulo de Elasticidad

7.5.1 Las tensiones admisibles y los módulos de elasticidad determinados experimentalmente en el presente estudio, para los diferentes grupos definidos, son los presentados en la TABLA Nº 21. En ella se incluye, además, la tensión admisible y el módulo elástico que se obtiene teóricamente del procedimiento establecido en la actual

INFOR

norma de cálculo en madera (NCh 1198).

TABLA Nº 20. COMPARACION ENTRE VIGAS DEL GRUPO Nº 4 CON OTROS GRUPOS DE MADERA CLASIFICADA.

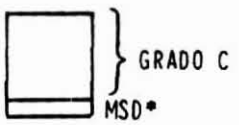
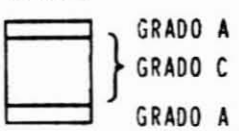
COMPARACION DE		PARA LA PROPIEDAD			OBSERVACION
	CON	MODULO DE RUPTURA	MODULO ELASTICO	TENSION ADMISIBLE	
GRUPO 4	GRUPO 5	$R_4 > R_5$ (16,6%)	$E_4 > E_5$ * (11,1%)	**	Entre paréntesis va el porcentaje de incremento del valor mayor por sobre el valor menor.
	GRUPO 6	$R_4 > R_6$ (26,8%)	$E_4 > E_6$ (14,4%)	$TA_4 > TA_6$ (127,3%)	

* Se debe entender que el Módulo Elástico medio obtenido en el Grupo Nº 5 es un 11,1% mayor que el correspondiente al Grupo Nº 4.

** Para el Grupo Nº 5 no se consideró de interés obtener el valor de la Tensión Admisible debido a que es una combinación de láminas poco probable.

INFOR

TABLA Nº 21. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULOS ELASTICOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES GRUPOS DEFINIDOS.

VIGAS FABRICADAS CON MADERA	PROPIEDAD (Kg-f/cm²)		OBSERVACIONES
	Tensión Admisible de Flexión	Módulo de Elasticidad en Flexión	
Clasificada de acuerdo con Grado C de este estudio. (Grupo Nº 2)	54,4	84.766	Valores experimentales.
Clasificada según Grado C con una lámina sin defectos. (Grupo Nº 6)	70,4	98.000	Valores experimentales. 
Sin clasificar. (Grupo Nº 1)	87,3	80.038	Valores experimentales.
Clasificada de acuerdo con norma NCh 1198.	116,6	102.240	Valores Teóricos.
Clasificada según Grado A de este estudio. (Grupo Nº 3)	147,0	127.924	Valores experimentales.
Clasificada según Grado A y Grado C. (Grupo Nº 4)	160,0	112.106	Valores experimentales. 

* MSD : Madera sin defectos.

INFOR

7.5.2 Considerando la poca experiencia que se tenía en el momento de estructurar la norma NCh 1198 se observa, por simple comparación, que los valores de resistencia que ella establecía eran superiores a los que se obtienen con madera sin clasificar y a los deducidos para elementos del Grupo Nº 2 (con madera Grado C) y Grupo Nº 6 (con madera Grado C y una lámina libre de defectos).

7.5.3 Los valores más altos de tensión admisible y módulo de elasticidad se obtienen para elementos del Grupo Nº 3 (con madera Grado A) y del Grupo Nº 4 (con combinación de láminas Grado C y Grado A).

7.5.4 Si se desea usar elementos laminados con un alto valor de tensión admisible de flexión, ellos deben conformarse como los elementos del Grupo Nº 4 (con madera Grado C en el centro y madera Grado A en los cantos).

7.5.5 Si se desea usar elementos laminados con un alto valor de rigidez, tales elementos deben conformarse con madera Grado A.

8.0 RECOMENDACIONES

8.1 Se recomienda presentar en el INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN), los documentos incluidos en el ANEXO A y ANEXO B como Anteproyecto de norma destinado a normalizar la clasificación de madera de Pino insigne destinada a la fabricación de madera laminada encolada.

8.2 Se recomienda completar los datos experimentales que se incluyen en este estudio, con ensayos de vigas fabricadas con madera del

Grado B y combinando láminas del Grado C (en el centro) con láminas exteriores del Grado B (en los cantos), a fin de tener toda la gama de posibilidades que se pueden conformar.

8.3 Se recomienda presentar en el INN (Comité Maderas) el documento incluido en el ANEXO C a fin de que se considere en el estudio de actualización que se está efectuando para la norma NCh 1198 Madera. Construcciones en Madera. Cálculo.

8.4 Se recomienda promover el uso de madera clasificada en la fabricación de elementos laminados mediante seminarios, charlas, publicaciones, etc. a fin de que los productores mejoren su tecnología y de tal manera se saque el mejor rendimiento a este producto forestal.

INFOR

9.0 BIBLIOGRAFIA

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. 1984. Design Standard Specifications for Structural Glued Laminated Timber of Sofwood Species, AITC 117, Englewood, Colorado, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1984. Standard Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes, D 198, Philadelhia, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1984. Standard Methods for Establishing Clear Wood Strength Values, D 2555-81, Philadelpia, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1984. Standard Method for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber, D 2915, Philadelpia, U.S.A.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1984. Standard Method for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam), D 3737-83a, Philadelphia, U.S.A.

APLIN, E. N. 1972. Stiffness-graded eastern Spruce Laminated beams. Forest Products Journal, Vol. 22 Nº 1, January, pp. 26-31.

AUSTRALIAN STANDARD SPECIFICATION. 1972. Glued-Laminated Structural Timber, AS 1328, North Sydney N.S.W., Australian.

BRAUN, M. OY MOODY, R. C. 1977. Bending Strength of Small glulam beams with a Laminated-Veneer tension Lamination. Forest Products Journal, Vol. 27 Nº 11, November, pp. 46-51.

FILLER, M. C; HOFSTRAND, A. DY HOWE, J. P. 1964. Laminated beam de

INFOR

sign for four westerm Softwoods. Forest Products Journal, Vol. 14 Nº 10, October, pp. 451-455.

KOCH, P. 1964. Strength of beams with laminae located according to stiffness. Forest Products Journal, Vol. 14 Nº 10, October, pp. 456-460.

MARZ, M. C. Y MOODY, C. R. 1982. Effect of lumber width and tension lamination quality on the bending strength of four-ply laminated beams. Forest Products Journal, Vol. 32 Nº 1, January, pp. 45-52.

NATIONAL STANDARD OF CANADA. 1984. Engineering design in wood (working stress design), CAN3-086-M84, Rexdale (Toronto), Ontario, Canadá.

PELLERIN, R. FY STRICKLER, M. D. 1971. Tension proof loading of lam stock for laminated beams. Forest Products Journal, Vol. 21 Nº 5, May, pp. 50-55.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1981. A Summary of Modulus of Elasticity and knot size surveys for Laminating Grades of Lumber (General Technical Report FPL-31). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1974. Design Criteria for Large Structural Glued-Laminated Timber Beams Usign Mixed Species of Visually Graded Lumber. (Research Paper FPL-236). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1981. Bending Strength of Shallow Glued-Laminated Beams of a Uniform Grade. (Research Paper FPL-380). Madison, Wisconsin, U.S.A.

INFOR

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1981. Strength and Stiffness of Small-Glued-Laminated Beams with Different Qualities of Tension Laminations. (Research Paper FPL-381). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1977. Improved Utilization of Lumber in Glued-Laminated Beams. (Research Paper FPL-292). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1970. Flexural Properties of Glued-Laminated Southern Pine Beams with Laminations Positioned by Visual-Stiffness Criteria. (Research Positioned by Visual-Stiffness Criteria. (Research Paper FPL-127). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1952. Tests of Glued-Laminated Wood Beams and Colums and Development of Principles of Design (Report FPL-R 1687). Madison, Wisconsin, U.S.A.

USDA. FOREST SERVICE. FOREST PRODUCTS LABORATORY. 1954. Fabrication and Design of Glued-Laminated Wood Structural Members. (Technical Bulletin Nº 1069). Madison, Wisconsin, U.S.A.

INFOR

A N E X O A

CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA Y VISUAL DE MADERA ASERRADA DE PINO INSIGNE DESTINADA A LA FABRICACION DE MADERA LAMINADA

Esquema Básico de Norma

INFOR

MADERA. CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA Y VISUAL DE MADERA ASERRADA DE PINO INSIGNE A SER USADA EN MADERA LAMINADA.	NCh.NN1

Esquema Básico

A.1. ALCANCE

A.1.1 Esta norma establece una clasificación estructural para la madera aserrada de Pino insigne destinada a la fabricación de elementos laminados encolados.

A.1.2 Esta norma entrega dos métodos de clasificación estructural: a) el mecánico, basado en la determinación experimental del módulo de elasticidad de cada pieza de madera aserrada, y b) el visual, basado en una inspección ocular de los defectos que aparecen en la pieza.

A.1.3 Esta norma se aplicará a madera aserrada de Pino insigne con un contenido de humedad no mayor de 16%.

A.2. REFERENCIAS

NCh 992 Madera. Defectos a considerar en la clasificación. Terminología y métodos de medición.

NCh 176/1 Madera. Parte 1: Determinación de humedad.

NCh NN2 Madera.

A.3. DEFINICIONES

A.3.1 Ancho : Dimensión mayor de la escuadría.

INFOR

A.3.2 Anillo de crecimiento: Sección transversal de la capa de madera formada durante un período vegetativo. Se caracteriza por el contraste más o menos marcado entre el leño tardío de un período y el leño temprano del siguiente.

A.3.3 Arista : Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes de una pieza.

A.3.4 Aserrar : Operación de cortar longitudinalmente la madera con sierra manual o mecánica y darle una escuadría determinada.

A.3.5 Cabeza : Sección transversal de cada extremo de una pieza.

A.3.6 Cantos : Superficies planas menores, normales a las caras, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.

A.3.7 Caras : Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza, o cada una de las superficies planas de una pieza de sección cuadrada.

A.3.8 Clasificación : Separación y ordenación de las piezas de madera en grupos que cumplen con los requisitos de cada grado establecido.

A.3.9 Clasificación Estructural (por resistencia) : Clasificación que se efectúa considerando la resistencia a los esfuerzos mecánicos como el principal requisito, de acuerdo al uso a que ella se destine.

INFOR

A.3.10 Clasificación Estructural Mecánica : Agrupamiento de piezas de madera aserrada mediante la medición experimental de su rigidez, usando un proceso normalizado.

A.3.11 Clasificación Estructural Visual : Agrupamiento de piezas de madera aserrada, basado en la inspección ocular de las características reductoras de la resistencia de la pieza, en el cual se determina el grado de acuerdo al tamaño de los defectos que aparecen en sus cuatro caras.

A.3.12 Dimensión Nominal : Dimensión mediante la cual la madera es conocida y comercializada.

A.3.13 Ensayo : Todo procedimiento habitual o especial para cerciorarse de que un aparato o material funciona tal como exigen sus normas de empleo. Llámase también prueba.

A.3.14 Escuadría : Expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal de la pieza.

A.3.15 Espesor : Dimensión menor de la escuadría.

A.3.16 Fibra : - Término con que se designa en anatomía de madera a toda célula o grupo de células, largas y estrechas, del leño o líber, que no sea vascular o parenquimática.
- Disposición de los elementos constitutivos de la madera en dirección longitudinal. Se conoce también por "hilo", "hebra" o "grano".

A.3.17 Grado : Conjunto de disposiciones o limitaciones mensura

bles de los defectos de la madera, que permite agrupar las piezas de madera para su clasificación.

A.3.18 Grano : Ver fibra.

A.3.19 Grano Inclinado (desviación de la fibra) : Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de la pieza. Se conoce también por "fibra inclinada".

A.3.20 Lámina : Elemento formado por una o varias piezas de madera en el cual dos de sus dimensiones predominan notablemente sobre la tercera.

A.3.21 Lámina Horizontal : Elemento de madera sometido a flexión, en el cual las láminas son paralelas al plano neutro de flexión.

A.3.22 Laminado Vertical : Elemento de madera laminada sometido a flexión, en el cual las láminas son normales al plano neutro de flexión.

A.3.23 Longitud : Distancia entre las cabezas de una pieza.

A.3.24 Luz : Dimensión horizontal interior de un vano o de una habitación.

A.3.25 Madera Aserrada : Pieza cortada longitudinalmente, por medio de sierra manual o mecánica, con el fin de darles caras planas y a escuadra.

A.3.26 Madera Laminada : Es la unión de tablas a través de sus cantos, ca

INFOR

ras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en escuadría ni en largo y que funciona como una sola unidad estructural. Dependiendo del elemento de unión, existen diferentes tipos de madera laminada.

A.3.27 Madera Laminada Encolada : Es aquella madera laminada cuyo elemento de unión es adhesivo. Es más conocida como "madera laminada".

A.4. CLASIFICACION ESTRUCTURAL

A.4.1 La madera de Pino insigne, destinada a la fabricación de madera laminada, se clasifica en tres grados estructurales que se denominan: Grado A, Grado B y Grado C, identificando a la madera de mejor calidad con el Grado A.

A.5. METODOS DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL

A.5.1 Consideraciones Generales

A.5.1.1 Cada pieza de madera debe ser clasificada antes de ensamblarla y marcarla con su grado. Cuando una pieza ya clasificada se reaserrea longitudinalmente o se corta a longitudes menores, debe someterse a una nueva clasificación considerando las medidas finales del elemento menor.

A.5.1.2 Las especificaciones que esta norma entrega son válidas sólo para elementos con laminación horizontal. Para elementos sometidos a flexión en los cuales la laminación es vertical, las piezas de madera deben clasificarse con las reglas establecidas para madera aserrada.

INFOR

A.5.1.3 Si el aspecto de las piezas que quedarán expuestas en las superficies exteriores deben cumplir con requerimientos especiales, éstos deben ser considerados en una clasificación visual especificada sólo para tal efecto.

A.5.1.4 Las especificaciones comunes a los tres grados definidos en 4.1, cualquiera sea el método de clasificación (mecánico o visual), son las incluidas en la TABLA Nº A.1.

TABLA A.1. ESPECIFICACIONES COMUNES A LOS TRES GRADOS DE CALIDAD DEFINIDOS PARA MADERA ASERRADA A SER USADA EN LA FABRICACION DE LAMINADOS.

<table>
<tr><th colspan="2">CARACTERISITCA O DEFECTO (1)</th><th colspan="4">ESPECIFICACION</th></tr>
<tr><td rowspan="5">ALABEOS (2)</td><td rowspan="4">ACANALADURA</td><td colspan="4">Se acepta con las magnitudes máximas siguientes:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ESPESOR NOMINAL (mm)</td><td colspan="3">Acanaladura Máxima Admisible (mm)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ancho Nominal (mm)</td></tr>
<tr><td>100 o menos</td><td>150</td><td>200 o más</td></tr>
<tr><td>25
50</td><td>Ninguna
Ninguna</td><td>1
Ninguna</td><td>3
1</td></tr>
<tr><td>ARQUEADURA ENCORVADURA Y TORCEDURA</td><td colspan="4">Se acepta con una magnitud máxima de 1,2 cm en 360 cm de longitud.</td></tr>
<tr><td colspan="2">CONTENIDO DE HUMEDAD</td><td colspan="4">No mayor de 16 %.</td></tr>
<tr><td colspan="2">MANCHAS</td><td colspan="4">. Se aceptan manchas provenientes de savia.
. Se acepta la mancha azul siempre que su efecto sobre la apariencia de la pieza sea aceptable.</td></tr>
<tr><td colspan="2">PUDRICION Y PERFORACION</td><td colspan="4">No se aceptan.</td></tr>
<tr><td colspan="2">RESINA</td><td colspan="4">No se aceptan piezas con alto contenido de resina en la superficie a encolar.</td></tr>
</table>

(1) : Las definiciones y la forma de cuantificar los defectos se debe hacer de acuerdo con la norma chilena NCh 992.

(2) : Para láminas más delgadas (menos de 25 mm) estos requerimientos pueden rebajarse cuando se dispone de un adecuado sistema de prensado que elimine la distorsión durante el ensamblado.

INFOR

A.5.2 Clasificación Estructural Mecánica.

A.5.2.1 Las especificaciones para cada uno de los grados de una clasificación estructural mecánica de madera aserrada, a ser usada en la fabricación de elementos laminados, se incluyen en la TABLA A.2.

TABLA A.2. ESPECIFICACIONES PARA LOS GRADOS DEFINIDOS AL USAR UNA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA.

CLASES	MODULO DE ELASTICIDAD APARENTE DE CADA PIEZA DE MADERA ASERRADA (E_f), EN MPa
GRADO A	$E_f \geqslant 10.600$
GRADO B	$10.600 > E_f \geqslant 9.000$
GRADO C	$9.000 > E_f \geqslant 4.000$

A.5.2.2 Procedimiento. El módulo de elasticidad aparente de cada pieza de madera aserrada se determinará siguiendo las especificaciones de la NCh NN2. (Ver ANEXO B).

A.5.3 Clasificación Estructural Visual.

A.5.3.1 Las especificaciones para cada uno de los grados de una clasificación estructural visual de madera aserrada, a ser usada en la fabricación de elementos laminados, se incluyen en la TABLA A.3.

A.5.3.2 Procedimiento. Las etapas que se deben seguir en la clasificación estructural visual, son las siguientes:

i) Inspeccionar visualmente la pieza de madera y clasificar las superficies (caras, cantos y cabezas) de acuerdo a los defec

TABLA A.3. ESPECIFICACIONES PARA LOS GRADOS DEFINIDOS AL USAR UNA CLASIFICACION ESTRUCTURAL VISUAL.

CARACTERISTICA O DEFECTO (1)	ESPECIFICACIONES PARA EL			OBSERVACION
	GRADO A	GRADO B	GRADO C	
Agujeros - Nudos Sueltos - Nudos Firmes.	Menores que $^1/_4$ del ancho de la cara (0,25a)	Menores que $^3/_{10}$ del ancho de la cara (0,3a)	Menores que 0,35 a.	a = ancho de la cara.
Alabeos	Ver Tabla A.1 de párrafo A.5.1.4			Ver llamado (2) en pie de Tabla A.1
Arista Faltante (Canto Muerto)	Se acepta en un canto a lo largo de la pieza, si la magnitud máxima del defecto es 4 mm, la cual debe desaparecer cuando el elemento laminado sea cepillado.			
Bolsillos	Se aceptan bolsillos secos, con un ancho máximo de 3 mm y con una longitud igual al ancho de la pieza siempre que ellos aparezcan ocasionalmente.			
Contenido de Humedad	No mayor de 16 %.			
Desviación de la Fibra	Menor que 1:12	Menor que 1:10	Menor que 1:8	Ver NOTA
Grietas y Rajaduras	Las piezas deben estar sin grietas, rajaduras o acebolladuras que formen un ángulo menor o igual a 45° con la cara de la pieza.			
Manchas	Ver Tabla A.1 de párrafo A.5.1.4			
Pudrición y Perforación	No se aceptan			
Resina	Ver Tabla A.1 de párrafo A.5.1.4			
Velocidad de Crecimiento	Más de 1,25 anillos por cada centímetro	Más de 1,5 anillos por cada centímetro.	Más de 1,8 anillos por cada centímetro.	

(1) : Las definiciones y la forma de cuantificar los defectos se debe hacer de acuerdo con la norma chilena NCh 992.

NOTA: La desviación de la fibra se debe medir en una distancia lo suficientemente grande, de modo que se determine la desviación general, despreciando desviaciones locales como las que se desarrollan alrededor de los nudos.

INFOR

tos que ellos presentan.

ii) Para efectuar tal clasificación ubicar, visualmente, el defecto de mayor incidencia o más predominante, y determinar en base a él la correspondiente clasificación, según TABLA A.3.

iii) Asimilar los defectos no especificados en la TABLA A.3 que puedan encontrarse en las piezas de madera, según sus características, a los demás defectos que sirven de base para la clasificación de ellas.

A.5.4 Marcado. Una vez clasificada la pieza se procederá a marcarla indeleblemente con un timbre en el cual aparezca claramente:

a) la identificación de esta norma
b) el grado en el cual quedó clasificada la pieza
c) el método de clasificación
d) el nombre de la autoridad clasificadora.

INFOR

A N E X O B

METODO PARA EFECTUAR LA CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA DE PIEZAS DE MADERA ASERRADA DESTINADA A LA FABRICACION DE MADERA LAMINADA

Esquema Básico de Norma

INFOR

MADERA. METODO DE CLASIFICACION ESTRUCTURAL MECANICA. MADERA ASERRADA PARA ELEMENTOS LAMINADOS.	NCh.NN2

Esquema Básico

B.1. ALCANCE

B.1.1 Esta norma establece un método de ensayo no destructivo para clasificar estructuralmente madera aserrada destinada a la fabricación de elementos laminados encolados horizontalmente.

B.1.2 El método que esta norma establece determina el módulo de elasticidad en flexión de la pieza, cuando la solicitación (carga) se aplica sobre una cara de ella.

B.1.3 Esta norma se debe aplicar a madera aserrada con un contenido de humedad menor que 16%.

B.2. REFERENCIAS

NCh 176/1 Madera - Parte 1 - Determinación de humedad.

B.3. PRINCIPIO DEL METODO

B.3.1 La pieza de madera aserrada, preferentemente recta o lijeramente alabeada, es sometida a un momento de flexión cuando se le apoya en dos puntos ubicados cerca de sus extremos y se le carga en su cara. Se miden las deformaciones en el centro de la luz y las cargas aplicadas.

INFOR

B.4. TERMINOLOGIA

B.4.1 Alabeo: Deformación que puede experimentar una pieza de madera en la dirección de sus ejes longitudinal o transversal, o de ambos a la vez.

B.4.2 Cara: Superficies planas mayores, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.

B.4.3 Clasificación: Separación y ordenación de las piezas de madera en grupos que cumplen con los requisitos de cada grado establecido.

B.4.4 Clasificación estructural: Clasificación que se efectúa considerando la resistencia a los esfuerzos mecánicos como el principal requisito, de acuerdo al uso a que ella se destine.

B.4.5 Clasificación estructural mecánica: Agrupamiento de piezas de madera aserrada mediante la medición experimental de su rigidez usando un proceso normalizado.

B.4.6 Espesor: Dimensión menor de una sección transversal. Se le da también el nombre de altura cuando la pieza está sometida a flexión con cargas aplicadas en la cara.

B.4.7 Laminado horizontal: Elemento de madera laminado sometido a flexión en el cual las láminas son paralelas al plano neutro de flexión.

B.4.8 Longitud: Distancia entre las cabezas (extremos) de una pieza.

B.4.9 Luz: Distancia entre los puntos de apoyo de un elemento estructural sometido a flexión.

INFOR

B.5. APARATOS

B.5.1 Máquina de ensayo o mecanismo capaz de aplicar cargas de flexión, midiéndolas con una exactitud de ± 1% o ± 0,5 Kg.

B.5.2 Dispositivos de medición de deformaciones capaz de dar una aproximación de ± 0,1 mm.

B.6. PROBETAS

B.6.1 La probeta está constituida por la pieza de madera aserrada para la cual se determina su módulo de elasticidad.

B.7. PROCEDIMIENTO

B.7.1 Luz de ensayo. La probeta se apoyará en dos puntos de modo que su relación luz/altura sea igual o mayor que 100. Bajo estas condiciones, el módulo de elasticidad en flexión no queda afectado por las deformaciones de cizalle. Ver Figura 1.

B.7.2 Disposición de la carga. La carga debe ser aplicada en el centro de la luz.

B.7.3 Medir el contenido de humedad de la pieza mediante el método no destructivo especificado en NCh 176/1.

B.7.4 Aplicar la carga sobre la cara de la pieza, eliminando un posible error del cero mediante la aplicación de una carga inicial (P_1) que no debe exceder del 10% de la carga total aplicada (P).

B.7.5 Medir la deformación (δ_1) provocada por la carga P_1 o en su defecto ajustar en cero el dispositivo de medición de la deformación.

INFOR

B.7.6 Aplicar la carga final (P_2), la cual debe ser igual a la carga total aplicada (P) más la carga inicial (P_1).

B.7.7 Medir la deformación (δ_2) que se produce al aplicar la carga final (P_2).

B.7.8 Calcular la diferencia entre las deformaciones con la siguiente expresión:

$$\delta = \delta_2 - \delta_1$$

en que :

δ = deformación ocasionada por la carga total aplicada (P).

NOTA: Esta deformación (δ) corresponde a la carga total aplicada (P), la que se calcula así:

Si P_1 = carga inicial
P_2 = carga final
P = carga total aplicada

Entonces $P_2 = P + P_1$
$P = P_2 - P_1$ en que : $P_1 \leqslant 0{,}1\ P$.

B.7.9 El proceso descrito se debe repetir en la otra cara.

B.8. CALCULOS

B.8.1 El módulo de elasticidad en flexión se debe calcular de la siguiente expresión:

$$E_f = \frac{L^3}{4\,b \times h^3} \times \frac{P}{\delta}$$

en que :

E_f = módulo de elasticidad en flexión, en MPa
L = luz de ensayo, en mm
b = ancho de la pieza, en mm
h = altura (espesor) de la pieza, en mm
P = carga total aplicada, en Newtons
δ = deformación, en mm

NOTA: P/δ = es la inclinación de la curva carga-deformación en la zona elástica. Ver Figura 2.

B.9. INFORME

B.9.1 Entregará los dos valores del módulo de elasticidad en flexión obtenidos en cada una de las caras de la pieza ensayada.

B.9.2 Para los efectos de esta norma se debe asignar a la pieza el menor de los valores obtenidos para el módulo de elasticidad en flexión.

B.9.3 Los valores del módulo elástico se entregarán en megapascales (MPa), con dos cifras decimales.

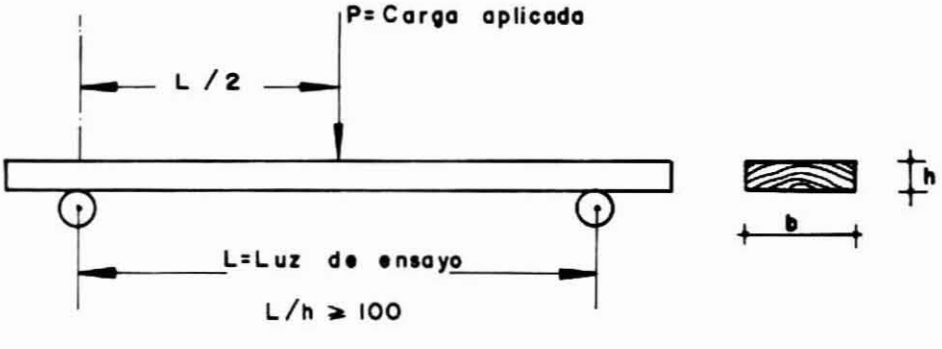


FIGURA 1. Disposición del ensayo.

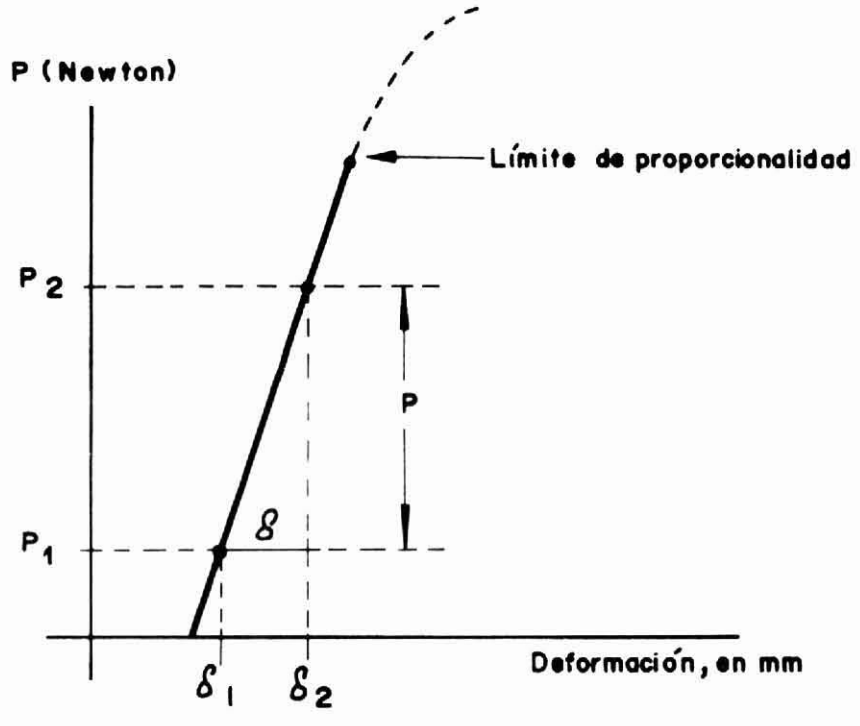


FIGURA 2. Curva carga-deformación.

INFOR

A N E X O C

ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS LAMINADOS DE PINO INSIGNE

Proposición a presentar en el
Comité del INN que estudia la norma NCh 1198

INFOR

ANEXO C

DISEÑO ESTRUCTURAL DE ELEMENTOS LAMINADOS DE PINO INSIGNE

C.1. CONSIDERACIONES GENERALES

C.1.1 Definiciones

C.1.1.1 Madera laminada estructural. Para los efectos de esta norma este término identifica a los elementos laminados encolados, en los cuales las fibras de todas las láminas que forman el elemento, quedan paralelas entre sí.

C.1.2 Requisitos de Diseño

C.1.2.1 A menos que en este documento se especifique de otra forma, los requisitos de diseño establecidos para la madera aserrada deben ser aplicados también a los elementos de madera laminada estructural.

C.1.3 Elementos de Unión

C.1.3.1 Los requisitos y cargas admisibles establecidos para los elementos de unión actuando en madera aserrada, deben ser aplicados también a los elementos de madera laminada estructural.

C.2. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULOS ELASTICOS

C.2.1 Las tensiones admisibles y los módulos de elasticidad que se deben asignar a la madera laminada estructural, fabricada con láminas constituidas con madera clasificada en los tres grados de calidad que entrega la NCh NN1, son los señalados en la TABLA C.1.

INFOR

TABLA C.1. TENSIONES ADMISIBLES Y MODULOS DE ELASTICIDAD EN FLEXION PARA LA MADERA LAMINADA ESTRUCTURAL.(1)

MADERA LAMINADA FABRICADA CON MADERA ASERRADA DE	TENSIONES ADMISIBLES (MPa)					MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)
	Flexión	CARGA AXIAL		Cizalle Horizontal	Compresión Normal a las Fibras	
		Compr. Paralela	Tracción Paralela			
GRADO A	14,4	10,0	9,0	1,4	3,0	12.545
GRADO B	*	*	*	*	*	*
GRADO C	5,3	7,5	3,3	1,4	2,0	8.313

(1): Valores determinados en base a ensayos con la madera clasificada en cada uno de los grados.

* : Por determinar.

C.2.2 Los valores de tensiones admisibles y de módulos de elasticidad que entrega la Tabla C.1 son aplicables a elementos sometidos a una carga normal (10 años), con un contenido de humedad igual a 12% y a una temperatura de 21°C. Además, tensiones admisibles de flexión y el módulo de elasticidad en flexión son aplicables a vigas rectas de 30 cm de altura con carga uniformemente repartida aplicada sobre la cara de la lámina exterior (laminación horizontal) y una razón luz/altura igual a 21. El diseño con otras condiciones de uso necesita de modificaciones usando los Factores de Modificación dados en C.3.

C.2.3 La aplicación de los valores entregados por la Tabla C.1 requiere que el proceso de fabricación de la madera laminada siga las especificaciones de normas internacionales aceptadas por la Autoridad Competente.

INFOR

C.2.4 Los valores de tensiones admisibles de flexión y los módulos de elasticidad en flexión, dados en la Tabla C.1, pueden ser usados en el cálculo de las tensiones de diseño de vigas laminadas en las cuales se combinan láminas con diferentes grados de calidad.

C.2.5 El módulo de corte (G) de un elemento laminado se puede estimar como un porcentaje del módulo de elasticidad en flexión (E_f). La relación:

$$G = E_f / 16$$

se considera satisfactoria para el diseño de elementos laminados conformados con madera de un determinado grado. -Una aproximación conservadora se obtiene asumiendo para el G de la viga, el valor del E_f del grado peor que se incluye en una viga constituida por varios grados de calidad.

C.3. DIMENSIONES DE LA MADERA LAMINADA

C.3.1 Escuadrías y Forma. Las dimensiones de la escuadría y la forma del elemento laminado se fijarán de común acuerdo entre el fabricante y el usuario.

C.3.2 Tolerancias. Las tolerancias permitidas en el momento de la fabricación serán las siguientes:

Espesor : ± 2 mm

Altura : Sobredimensión = 1%

Subdimensión : el menor valor entre 3 mm y 0,5%.

Longitud : ± 2 mm (Hasta 6 metros)

± 0,3 mm/m (Sobre 6 metros)

INFOR

C.4. FACTORES DE MODIFICACION

C.4.1 Por Duración de Carga

C.4.1.1 La carga de duración normal contempla que un elemento permanece con la máxima tensión de diseño durante 10 años a causa de la aplicación de la carga total de diseño durante tal período, contabilizado en forma continua o acumulada.

C.4.1.2 Cuando un elemento debe permanecer con la máxima tensión de diseño durante más de 10 años (contados en forma continua o acumulada) se debe tomar el 90% de los valores incluidos en la Tabla C.1. (Factor de Modificación = 0,90).

C.4.1.3 Cuando la duración de la carga total no supera los 10 años (medida en forma continua o acumulada) se usarán los Factores de Modificación señalados en la Tabla C.2. Estos Factores de Modificación no afectan al módulo de elasticidad ni a la tensión admisible por compresión normal.

C.4.2 Factor de Modificación por Altura

C.4.2.1 Cuando la altura de una viga rectangular excede de 30 cm, los valores de tensión admisible en flexión deben ser reducido multiplicándolos por el Factor de Modificación por altura (FM_h) calculado con la siguiente relación:

$$FM_h = \left(\frac{30}{d}\right)^{1/9}$$

en que :

FM_h = factor de modificación por altura

d = altura del elemento laminado, en cm.

INFOR

TABLA C.2. FACTORES DE MODIFICACION POR DURACION DE CARGA.

DURACION DE LA CARGA	FM_c	DURACION DE LA CARGA	FM_c
1 segundo	2,05	1 hora	1,47
5	2,02	5	1,44
10	1,99	10	1,40
15	1,97	15	1,37
20	1,94	20	1,34
25	1,90	1 día	1,31
30	1,88	5	1,28
35	1,86	10	1,26
40	1,83	15	1,24
45	1,81	20	1,21
50	1,78	25	1,19
55	1,76	1 mes	1,17
		2	1,15
1 minuto	1,73	3	1,14
5	1,71	6	1,12
10	1,69	9	1,09
15	1,67	1 año	1,07
20	1,65	5	1,04
25	1,62	10	1,00
30	1,60	20	0,98
35	1,58	30	0,97
40	1,56	40	0,96
45	1,54	50	0,94
50	1,52		
55	1,50		

INFOR

C.4.2.2 El valor del factor de modificación por altura dado en C.4.2.1 se debe aplicar a vigas simplemente apoyadas con carga uniformemente repartida y con una razón luz/altura igual a 21. Para otras condiciones de carga y relaciones luz/altura se deben agregar los factores de modificación que se incluyen en las TABLAS C.3 y C.4.

TABLA C.3. FACTORES DE MODIFICACION PARA RAZONES LUZ/ALTURA DIFERENTES DEL VALOR 21.

RAZON LUZ/ALTURA ℓ/h*	$FM_{\ell/h}$
7	1,063
14	1,023
21	1,000
28	0,984
35	0,972

* Para valores intermedios se debe interpolar linealmente.

TABLA C.4. FACTORES DE MODIFICACION PARA CONDICIONES DE CARGA DIFERENTES.

CONDICION DE CARGA PARA VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS	FM_d
- Carga concentrada en el centro de la luz.	1,078
- Uniformemente distribuida.	1,000
- Cargas concentradas en los tercios de la luz.	0,968

INFOR

C.4.3 Factor de Modificación para Condiciones de Servicio Húmedas.

C.4.3.1 Los valores de las tensiones admisibles y de los módulos elásticos establecidos en Tabla C.1 son aplicables cuando se espera un contenido de humedad de servicio menor de 16%. Se define como condiciones de servicio húmedas aquéllas en las cuales la madera alcanza un contenido de humedad igual o mayor que 16%.

C.4.3.2 Para condiciones de servicio húmedas los valores tabulados en Tabla C.1 se deben corregir con los factores de modificación dados en TABLA C.5.

TABLA C.5. FACTORES DE MODIFICACION PARA CONDICIONES DE SERVICIO HUMEDAS.

SOLICITACION	FM_{ch}
- Flexión	0,800
- Compresión paralela a las fibras.	0,730
- Tracción paralela a las fibras.	0,800
- Módulo de Elasticidad en flexión.	0,833
- Cizalle horizontal.	0,875
- Compresión normal a las fibras.	0,667
- Tracción normal a las fibras.	0,875

INFOR

C.4.4 Factor de Modificación por Esbeltez.

C.4.4.1 Cuando la altura (h) de una viga sometida a flexión excede su ancho (b) se debe disponer de arriostramientos laterales. Para dar seguridad a la viga contra el volcamiento es necesario determinar su longitud sin apoyo lateral (L_u) mediante la TABLA C.6.

TABLA C.6. CALCULO DE LA LONGITUD SIN APOYO LATERAL (L_u), DE UNA VIGA SOMETIDA A FLEXION.

Si		
$h \leq b$	No se requiere de arriostramiento lateral	$L_u = 0$
$h > b$	Debe disponerse arriostramientos laterales a fin de prevenir desplazamientos laterales y rotación. Si el canto comprimido del elemento laminado está: a) Apoyado a lo largo de su longitud para prevenir desplazamientos laterales.	$L_u = 0$
	b) Arriostrados en puntos separados por una distancia "a", destinados a prevenir desplazamientos laterales y rotación de tales puntos.	$L_u = a$
	c) Sin arriostramiento lateral a lo largo de su longitud (L).	$L_u = L$

L_u = Longitud sin apoyo lateral.

C.4.4.2 Cuando la longitud sin apoyo lateral resulta mayor que cero ($L_u > 0$) es necesario determinar la esbeltez del elemento, cuyo valor podría afectar la tensión admisible de flexión. Para este efecto la esbeltez se expresa mediante el factor de esbeltez (C_e) cuya expre

sión es:

$$C_e = \sqrt{\frac{L_e \times h}{b^2} \times 10^3}$$

en que :

b = ancho de la viga, en mm

h = altura de la viga, en mm

L_e = longitud efectiva sin apoyo, en m.

C_e = factor de esbeltez

El valor de la longitud efectiva sin apoyo se puede obtener de la TABLA C.7.

TABLA C.7. VALOR DE LA LONGITUD EFECTIVA SIN APOYO (L_e).

TIPO DE VIGA	DISTRIBUCION DE LA CARGA	L_u	L_e
VIGA SIMPLEMENTE APOYADA	- Cualquier carga	$L_u = L$	$L_e = 1,92\ L_u$
	- Uniformemente distribuida	$L_u = L$	$L_e = 1,92\ L_u$
	- Momentos iguales en los extremos	$L_u = L$	$L_e = 1,84\ L_u$
	- Carga concentrada en el centro	$L_u = L$	$L_e = 1,61\ L_u$
	- Cualquier carga	$L_u = a$	$L_e = 1,92\ L_u$
	- Carga concentrada en el centro de la luz	$L_u = a$	$L_e = 1,11\ L_u$
	- Cargas concentradas en los tercios de la luz	$L_u = a$	$L_e = 1,68\ L_u$
	- Cargas concentradas en los cuartos de la luz	$L_u = a$	$L_e = 1,54\ L_u$
	- Cargas concentradas en los quintos de la luz	$L_u = a$	$L_e = 1,68\ L_u$
VIGA EN VOLADIZO	- Cualquier carga	$L_u = L_c$	$L_e = 1,92\ L_u$
	- Carga concentrada en el extremo del volado	$L_u = L_c$	$L_e = 1,69\ L_u$
	- Uniformemente distribuida		

L_c = Longitud del volado, en m.

INFOR

C.4.4.3 Los factores de modificación, aplicables a la tensión admisible por flexión, que se deben usar de acuerdo al valor que resulte para el factor de esbeltez (C_e) son los señalados en la TABLA C.8.

TABLA C.8. FACTORES DE MODIFICACION POR ESBELTEZ APLICABLE A LA TENSION ADMISIBLE DE FLEXION ($\sigma_{f,adm}$).

VALOR DEL FACTOR DE ESBELTEZ (C_e)	FACTOR DE MODIFICACION POR ESBELTEZ FM_e
$C_e \leqslant 10$	1,00
$10 < C_e < C_k$ *	$1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_e}{C_k}\right)^4$
$C_k < C_e < 50$	$\frac{0,4\ \overline{E}_f}{C_e^2\ \sigma_{f,adm}}$
$50 < C_e$	No se acepta

* C_k = razón de rigidez de flexión = $\sqrt{\frac{3\ \overline{E}_f}{5\ \sigma_{f,adm}}}$

en que :

$\overline{E}_f$ = módulo de elasticidad medio de la viga

σ_f = tensión admisible de flexión

NOTA: Estos factores de modificación permiten tener la certeza de que la viga no sufrirá volcamiento.

C.4.4.4 El Factor de Modificación por esbeltez no es acumulativo con el Factor de Modificación por altura. La tensión de ensayo de flexión debe ser inferior al mayor valor que se obtenga entre la tensión ad

misible determinada con la aplicación del Factor de Modificación por altura y el que se calcula considerando el Factor de Esbeltez.

C.4.5 Factor de Modificación por Curvatura

C.4.5.1 Para elementos curvos sometidos a flexión en el plano de su curvatura debe aplicarse el Factor de Modificación dado por la expresión:

$$FM_c = 1 - 2.000 \left(t/R\right)^2$$

en que :

t = espesor de la lámina, en cm
R = radio de curvatura, en cm

C.5. TENSIONES DE DISEÑO

C.5.1 Las tensiones de diseño se obtienen mediante el producto de las tensiones admisibles dadas en Tabla C.1 y los Factores de Modificación a que haya lugar, los cuales se determinarán de acuerdo a las condiciones de servicio en que quedará el elemento laminado.

C.6. TENSIONES DE TRABAJO

C.6.1 Las tensiones de trabajo se determinan usando los requisitos de diseño establecidos para madera aserrada con excepción de los casos que se señalan a continuación:

C.6.1.1 Las tensiones de trabajo radiales inducidas en un elemento rectangular curvo sometido a un momento de flexión (M) se determinan con

INFOR

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

la expresión:

$$\sigma_{r,tr} = \frac{3\,M}{2\,R\,b\,.\,h}$$

en que :

M = momento de flexión aplicado al elemento curvo
R = radio de curvatura
b = ancho de la sección rectangular
h = altura de la sección rectangular

C.6.1.2 Cuando el momento de flexión M tiende a incrementar la curvatura (disminuir el radio) las tensiones de trabajo radiales son tensiones de compresión normal a las fibras. La tensión de trabajo radial no debe exceder el valor de tensión de diseño por compresión normal a las fibras, definida para la especie y grado usado en el elemento laminado.

C.6.1.3 Cuando el momento flector tiende a disminuir la curvatura (incrementar el radio) las tensiones de trabajo radiales son tensiones de tracción normal a las fibras. La tensión de trabajo radial no debe exceder el valor de $^1/_3$ la tensión de diseño de cizalle horizontal definida para la especie y el grado usado en el elemento laminado. (Para condiciones de servicio húmedas se deberá usar un Factor de Modificación igual a 0,875 aplicado a la tensión admisible de cizalle horizontal).

INFOR



instituto forestal