

INSTITUTO FORESTAL

C-1



0005998

INFORME TECNICO Nº 37

FATIGAS DE

DISEÑO PARA MADERAS

ESTRUCTURALES CHILENAS

INSTITUTO FORESTAL

3-4 JUL 1975



INFOR

**FATIGAS DE DISEÑO
PARA MADERAS
ESTRUCTURALES
CHILENAS**

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

A U T O R :

V. ANTONIO PEREZ G.

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
Y PRODUCTOS FORESTALES
INSTITUTO FORESTAL
SANTIAGO - CHILE
1 9 7 1



(c) INSTITUTO FORESTAL, 1971
INSCRIPCION Nº 39278



INSTITUTO FORESTAL
Valenzuela Llanos 260
Casilla 3085
Santiago
CHILE

RESUMEN	5
INTRODUCCION	7
PRIMERA PARTE - ANTECEDENTES GENERALES	
METODO GENERAL PARA LA OBTENCION DE LAS FATIGAS DE DISEÑO DE LAS MADERAS	11
FACTORES QUE SE CONSIDERAN EN LA OBTENCION DE LA FATIGA BASICA	12
Contenido de humedad de las probetas	13
Variabilidad de los datos	14
Factor de seguridad	15
METODOS USADOS EN LA OBTENCION DE LAS FATIGAS BASICAS	16
Método usado en Inglaterra	16
Métodos usados en Estados Unidos de Norteamérica	19
Comparación entre ambos métodos	21
CLASIFICACION DE LA MADERA POR RESISTENCIA. RAZON DE RESISTENCIA Y FATIGAS ADMISIBLES	23
Clasificación de la madera por resistencia.	
Generalidades	23
Defectos de la madera que afectan su resistencia	24
Reglas de clasificación por resistencia.	
Razón de resistencia	28
Fatigas admisibles	30
MODIFICACION DE LAS FATIGAS ADMISIBLES Y OBTENCION DE LAS FATIGAS DE DISEÑO	31
Factores de modificación de aplicación general	32
Factores de modificación para elementos sometidos a flexión	36
Factores de modificación para elementos sometidos a compresión	40



SEGUNDA PARTE - PROPOSICION DE METODOS Y VALORES

METODO PROPUESTO PARA DETERMINAR LAS FATIGAS BASICAS DE LAS MADERAS CHILENAS	49
APLICACION DEL METODO PROPUESTO A ALGUNAS ESPECIES CHILENAS A FIN DE DETERMINAR SUS FATIGAS BASICAS	53
METODO DE CLASIFICACION POR RESISTENCIA PROPUESTO PARA LAS ESPECIES CHILENAS	54
Generalidades	54
Clasificación por resistencia	56
FATIGAS DE DISEÑO PARA LAS MADERAS NACIONALES	59
BIBLIOGRAFIA	61
APENDICE - DEFINICIONES, METODOS DE MEDICION Y TABLAS DE LOS DEFECTOS	
Definiciones y nomenclatura de los defectos	65
Método de medición de los defectos	68
Tablas	75

Los valores de resistencia de maderas obtenidos en ensayos estandarizados efectuados en probetas de maderas libres de defectos, permiten establecer comparaciones, pero no es aconsejable utilizarlos en el diseño de estructuras.

En el presente trabajo se exponen los métodos usados en otros países para la evaluación de fatigas básicas, sobre la base de los resultados obtenidos en los ensayos de probetas libres de defectos. Además, se presentan las reglas que deben seguirse en una clasificación por resistencia.

Los factores considerados para la evaluación de fatigas básicas son: contenido de humedad de las probetas, variabilidad natural de las maderas, duración de la carga de ensayo y un factor de seguridad.

Al establecer las reglas de clasificación por resistencia, se analizan los defectos de la madera que influyen sobre ella, se presenta el método para deducir la fatiga admisible de cada uno de los grados definidos para una especie dada, y se proporcionan las modificaciones que deben aplicarse a las fatigas admisibles de acuerdo a las condiciones específicas que pueden presentarse.

Se proponen métodos para:

1. Establecer las fatigas básicas de especies madereras chilenas.
2. Efectuar una clasificación de resistencia de las maderas nacionales, para diferentes usos, en tres grados definidos.
3. Medir los defectos de la madera que influyen sobre su resistencia.

El trabajo finaliza con la aplicación de los métodos propuestos a algunas especies chilenas ensayadas.

A B S T R A C T

Even though strength values obtained from standardized tests of defect-free wood samples permit comparison between the different timber species, such values are not directly usable in the design of wood structures.

In this project, the methods employed in other countries are used in the evaluation of the basic strength values, taking as a base the results obtained in the tests of small clear specimens. Together with the preceding are presented the rules that ought to be followed in a strength classification.

Moisture content of the samples, natural variability in clear-wood strength, duration of load and a safety factor have been taken into account in the evaluation, or adjustment, of the basic stress values.

The establishment of rules for strength classification requires the analysis of those defects, or characteristics, of wood that influence strength and the presentation of a method to determine the working stress for each one of the defined grades of a given species. Additionally, the working stresses should be adjusted according to the specific conditions that are encountered in practice.

The work concludes by proposing methods for:

1. The establishment of the basic-stress values for the Chilean timber species.
2. The development of a strength classification of the national woods in three defined grades for different uses.
3. The measurement of the strength reducing characteristics in the wood.



INTRODUCCION

A pesar de las excelentes cualidades estructurales de la madera, los ingenieros, arquitectos y constructores chilenos tienen poca confianza en la capacidad de este material para ser usado en estructuras y competir favorablemente con otros materiales tradicionales de la construcción.

Esta situación se origina en dos series de factores: a) los productores no han dirigido sus esfuerzos hacia la comercialización de la madera con fines estructurales. Esto es porque no han ofrecido un producto que tenga cierta capacidad estructural que pueda garantizarse dentro de algunos límites de probabilidades, debido a que no comercializan la madera clasificada según su resistencia; y, b) los proyectistas no poseen las herramientas básicas para poder diseñar, por no contar con una norma de cálculo para estructuras de madera en la cual se den las fatigas de diseño y se especifiquen las características que debe cumplir la madera como material estructural.

Actualmente hay en el país normas INDITEC-NOR y una Ordenanza de Construcciones que dan tasas de trabajo para el acero, hormigón, ladrillos, etc., pero no existen estos valores para las maderas chilenas.

El presente trabajo consiste en un estudio teórico y en un análisis de los diversos factores que influyen en la resistencia mecánica de la madera y que determinan las fatigas de diseño de ella. Se aplica este estudio a las maderas chilenas para las cuales se cuentan con datos de resistencia mecánica y que tienen o pueden tener, aplicaciones estructurales. Este estudio podrá reactualizarse a medida que se disponga de nuevos valores de resistencia para otras especies.



La finalidad de este trabajo es la de presentar al proyectista valores que le permitan diseñar estructuras de madera, y criterios para las modificaciones de estos valores, según sea el caso particular que se trate. Además, indica las reglas de clasificación estructural de maderas dirigidas principalmente a los productores.

Los valores y métodos que se sugieren pueden servir como base para que sean estudiados por un Comité INDITECNOR, el cual les daría su forma definitiva para integrar una Norma para Construcciones en Madera.

PRIMERA PARTE

ANTECEDENTES GENERALES

METODO GENERAL PARA LA OBTENCION DE LAS FATIGAS DE DISEÑO DE LAS MADERAS

Las distintas propiedades resistentes de la madera se avalúan a base de ensayos estandarizados de pequeñas probetas libres de defectos, tales como nudos, grietas, desviaciones de fibras. En cambio, en las estructuras de madera, la mayoría de las piezas son de tamaño más grande que los empleados en las probetas de ensayos, y la carga puede ser aplicada en ellas durante un período indefinido, en comparación con los pocos minutos que dura el ensayo. Además los elementos estructurales no están, generalmente, libres de defectos, y no es económico ni necesario que así suceda.

Los valores de resistencia obtenidos de los ensayos de probetas pequeñas, libres de defectos, no pueden aplicarse directamente al diseño de elementos estructurales. Lo que corresponde es tomar estos valores de ensayo como punto de partida, y considerar en ellos la influencia de los diversos factores que transforman las condiciones de ensayo en aquellas que realmente se encuentran en la práctica, en una estructura. Las etapas que normalmente se siguen en este procedimiento son las siguientes:

- a) Obtención de la fatiga que puede soportar elásticamente y en forma permanente un elemento de madera estructural ideal libre de defectos, o de otras características reductoras de su resistencia. A esta tensión unitaria se le denomina **fatiga básica**.
- b) Avalúo de la influencia de los defectos sobre la resistencia, mediante la formulación de reglas de clasificación que especifiquen las dimensiones máximas de defectos permitidos en una determinada clase o grado. Es posible establecer varias clases o grados y la clasificación de la madera, de acuerdo a estas clases, se denomina **clasificación por resistencia**.
- c) Reducción de la fatiga básica de acuerdo al conjunto de características reductoras de la resistencia (defectos) que se admiten en cada uno de los

grados. El factor que reúne la influencia de estas características en un grado determinado se denomina **razón de resistencia** y se aplica a la fatiga básica para obtener la tensión unitaria que puede soportar, en forma permanente, un elemento estructural perteneciente a ese grado determinado. A esta tensión se le llama **fatiga admisible**.

- d) Modificación de la fatiga admisible de acuerdo a las condiciones específicas de carga y servicio bajo las cuales estará el elemento estructural. Entre los factores que modifican las fatigas admisibles están: cargas de corta duración, trabajo en conjunto de los elementos, pandeo, etc. La tensión unitaria que resulta después de estas modificaciones se llama **fatiga de diseño** y es la tensión unitaria que puede soportar un elemento estructural bajo específicas condiciones de carga y servicio.
- e) La realización limitada de ensayos adecuados, en elementos de dimensiones estructurales a fin de confirmar los coeficientes de reducción (razones de resistencias) aplicados a las fatigas básicas, para obtener las fatigas admisibles.

FACTORES QUE SE CONSIDERAN EN LA OBTENCION DE LA FATIGA BASICA

Se ha establecido, casi universalmente, que en la determinación de las fatigas básicas se deben tener presente los siguientes factores:

- el contenido de humedad de las probetas;
- la variabilidad que se obtiene en los datos de los ensayos de probetas pequeñas libres de defectos;
- la duración de la carga en un ensayo; y
- la seguridad de que, bajo condiciones ideales de carga y teniendo presente el tamaño y forma de la probeta la tensión unitaria aceptada esté siempre en la zona elástica del material.



Contenido de humedad de las probetas

Las propiedades resistentes de la madera varían con el contenido de humedad que ella tiene. Para contenidos de humedad mayores al punto de saturación de las fibras (estado verde), las resistencias no presentan variaciones importantes, pero para humedades menores a dicho punto (estado seco), las propiedades resistentes aumentan a medida que disminuye el contenido de humedad.

Una gran cantidad de elementos estructurales de madera se utilizan en estado verde; para tales elementos se pueden presentar dos alternativas: o el ambiente en el cual ellos permanecerán es húmedo o las condiciones ambientales son tales que, con el correr del tiempo, dichos elementos perderán humedad.

En el primer caso, es evidente que la deducción de las fatigas básicas se debe efectuar en base a las propiedades resistentes de probetas pequeñas libres de defectos, en estado verde. Para el segundo, se debe tener en cuenta que con la pérdida de humedad se originan contracciones en la madera y con ellas existe la posibilidad de que el elemento sufra agrietamientos, rajaduras y partiduras. Estos defectos reducen la resistencia de la madera y, obviamente, la del elemento estructural. La misma consideración se debe tener presente para el caso en el cual la pieza estructural se somete a secado antes de ser empleada en obra.

Se acepta que en un elemento estructural los incrementos de resistencia ocasionados con el secado de él, puedan ser parcial o totalmente contrarrestados por el desarrollo de defectos inherentes a la pérdida de humedad.

Se ha establecido que en la deducción de las tensiones unitarias básicas de las maderas, lo más conveniente es la utilización de las propiedades resistentes determinadas en probetas estándares en estado verde.

Puede presentarse una excepción a lo anterior, en el caso de madera con dimensiones no mayores de 10 cm (4") de espesor, que se haya secado a un contenido de humedad no mayor de 18%, y que luego de este secado, se la clasifica por resistencia para ser utilizada, permanentemente, en condiciones de ambiente tales que la madera no excede de esta humedad mientras esté en servicio. Solo en tales condiciones se han deducido, en algunos países, fatigas básicas de la madera en base a las propiedades resistentes obtenidas en probetas estándares, libres de defectos en estado seco.

Otro camino que se emplea, USA, es el de aplicar a las tensiones unitarias básicas, deducidas a partir de las propiedades mecánicas de madera en estado verde, coeficientes que consideren el incremento de resistencia debido a la menor humedad de estas piezas.

Variabilidad de los datos

La estimación de la fatiga básica para el estado verde se efectúa siempre tomando como base el promedio aritmético de los valores provenientes de los ensayos realizados en probetas libres de defectos, en estado verde. Mientras mayor sea el número de ensayos, mayor es la calidad de tal estimación. Pero el promedio no toma en cuenta el rango de variación de los valores de resistencia que se considera y, no ayuda a determinar el valor mínimo de resistencia que puede presentarse en la práctica. En este caso, un gran número de ensayos pondrá en evidencia el grado de variación que se presenta en la obtención de una determinada propiedad resistente.

Se ha demostrado que casi todas las propiedades mecánicas de la madera tienden a distribuirse según la curva normal. Si para una determinada propiedad el número de ensayos es muy grande, con los valores de resistencia determinados se puede dibujar con bastante exactitud la **campana de Gauss** o la curva de distribución normal.

Razones económicas hacen que el número de ensayos sea siempre reducido, obteniéndose con ello una curva normal de forma irregular. En este caso, se debe recurrir a las propiedades de la curva de distribución normal, que especifican que para dibujarla partiendo de una muestra representativa del total de valores que la forman, basta con conocer la media aritmética y la desviación estándar de esa muestra. La desviación estándar es, precisamente, una medida del rango de variación que presentan los valores de la muestra. Finalmente, con ayuda de la curva de distribución normal se podrá pronosticar la proporción o porcentaje de valores de resistencia que resultarán mayores o menores que un valor dado o, inversamente, calcular el valor respecto al cual se obtendrá un probable porcentaje de valores de resistencia menores o mayores que él.

Este valor se llama **resistencia mínima probable**, y su determinación se efectúa mediante la teoría de la curva normal. Si se acepta como probabilidad razonable la de obtener 1 vez en 100 un valor menor a la resistencia mínima establecida, este valor mínimo probable queda definido por:

$$X_{\text{mín.}} = \bar{X} - 2,33 s_X$$

en que:

- $X_{\text{mín.}}$ = valor de resistencia mínima probable
- $\bar{X}$ = resistencia media de la muestra
- s_X = desviación estándar de la muestra



De igual forma, si se acepta como un riesgo razonable el de obtener 5 veces en 100 una resistencia menor a la resistencia mínima probable, ésta queda determinada por la expresión:

$$X'_{\text{mín.}} = \bar{X} - 1,645 s_X$$

Factor de seguridad

El resto de los factores que afectan la resistencia y que se deben considerar en la determinación de la fatiga básica son: velocidad y duración de la carga, sobrecargas, forma y dimensión de los elementos. Se ha intentado evaluar los efectos de ellos sobre la resistencia mediante el uso de coeficientes, algunos de ellos determinados arbitrariamente y otros en base a un número limitado de experiencias como es el caso del efecto de cargas de larga duración.

Los efectos de las cargas de larga duración y el tamaño de las probetas afectan a la resistencia en su carga máxima en mayor proporción que a las cargas iguales o menores a la carga en el límite de proporcionalidad. Se ha considerado que, en lugar de tratar de estimar el valor de cada uno de estos coeficientes, se obtiene una mejor aproximación aplicando un coeficiente único que asegure la obtención de una fatiga básica razonable, inferior a la tensión unitaria en el límite de proporcionalidad, especialmente para aquellas especies que han sido usadas ampliamente durante un largo período de tiempo.

En otras palabras, este factor de seguridad único daría la certeza al calculista, en el sentido de que el elemento que él diseña trabajará elásticamente bajo cualquier condición de carga. Este factor de seguridad se aplica directamente a los valores obtenidos de la estimación estadística del valor de resistencia mínima probable, y no tiene que ser necesariamente el mismo valor para las diversas propiedades resistentes.

Generalmente se usan valores para este factor de seguridad comprendidos entre 1,4 y 4,1, según sea la propiedad y el país donde se aplica. Al aplicar tales factores a la resistencia mínima probable, se está procediendo a dar un coeficiente de seguridad a las piezas más débiles, en cuanto a resistencia. Para los elementos que tengan una resistencia mayor a la mínima, el margen de seguridad será apreciablemente mayor.

METODOS USADOS EN LA OBTENCION DE LAS FATIGAS BASICAS

En la gran mayoría de los países con experiencia en investigación de productos forestales, la tensión unitaria básica se obtiene a partir de los resultados de ensayos estándares de probetas pequeñas libres de defectos, en estado verde, dividiendo el valor mínimo probable, determinado estadísticamente, por un coeficiente de seguridad apropiado para la propiedad en estudio.

Las tensiones unitarias que se utilizan en un diseño estructural corresponden a las resistencias por: flexión, compresión paralela a las fibras, compresión normal a las fibras, tracción paralela y cizalle horizontal. Para la determinación de deformaciones es también útil conocer el módulo de elasticidad a la flexión.

A continuación se resumen dos de los principales métodos usados en el mundo en la obtención de las fatigas básicas. Uno de ellos corresponde a Inglaterra (20), seguido también por Australia; el otro es el que se está aplicando (2) en Estados Unidos de Norteamérica. Ambos procedimientos coinciden en su gestación, a saber: reducción estadística de los valores de resistencia obtenidos en el ensayo de probetas libres de defectos y luego aplicación de un coeficiente de seguridad al valor de resistencia mínima probable, así determinado.

Método usado en Inglaterra

El método usado en Inglaterra para la determinación de las fatigas básicas de las diferentes resistencias, se resume así:

- a) **Flexión.** Se usa como base el valor medio del módulo a la rotura ($\bar{R}_f$). La fatiga básica a la flexión (σ_f) queda determinada por:

$$\sigma_f = \frac{\bar{R}_f - 2,33 s_{R_f}}{2,25}$$

en que:

s_{R_f} = desviación estándar del módulo de rotura

- b) **Compresión paralela.** Se usa como base el valor de resistencia máxima ($\bar{R}_c$), quedando la fatiga básica a la compresión paralela (σ_c) determinada por:

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}_c - 2,33 s_{R_c}}{1,4}$$

en que:

s_{R_c} = desviación estándar de la resistencia máxima

Se usa un factor de seguridad menor (1,4) porque se ha demostrado que la relación entre la carga en el límite de proporcionalidad y la carga máxima es mayor que en el caso de resistencia a la flexión y tracción.

- c) **Tracción paralela a las fibras.** La resistencia a la tracción de madera libre de defectos es bastante mayor que las resistencias de flexión y de compresión, pero como los defectos tienen una mayor influencia sobre ella, se considera adecuado aceptar una tensión unitaria básica equivalente a la de flexión en vez de tomar un valor mayor susceptible de altas reducciones por los defectos que puedan existir.
- d) **Compresión normal a las fibras.** La determinación directa de la resistencia a la compresión normal a las fibras ya no se realiza en los laboratorios de Inglaterra. Se ha encontrado que existe una buena correlación entre la dureza normal a las fibras (método de Janka) y la resistencia a la compresión normal, existiendo factores que convierten un valor en el otro. Este factor de reducción se asocia con el factor de seguridad a fin de usar directamente los valores de dureza normal, con lo cual se obtiene:

$$\sigma_{cn} = \frac{1/k (\bar{R}_{dn} - 1,96 s_{R_{dn}})}{2,25} = \frac{\bar{R}_{dn} - 1,96 s_{R_{dn}}}{K \cdot 2,25}$$

18.

en que:

- σ_{cn} = fatiga básica para la resistencia a la compresión normal a las fibras
 $\bar{R}_{dn}$ = valor medio de dureza normal a las fibras
 $s_{R_{dn}}$ = desviación estándar de dureza normal a las fibras
 $1/k$ = coeficiente de reducción que convierte el valor de dureza normal al valor de resistencia de compresión normal a las fibras

- e) **Cizalle.** Se usa como base el valor medio de la resistencia máxima de cizalle (R_{cz}) y la fatiga básica al cizalle (σ_{cz}) que queda expresada por:

$$\sigma_{cz} = \frac{\bar{R}_{cz} - 2,33 s_{R_{cz}}}{2,25}$$

- f) **Módulo de elasticidad a la flexión.** El valor medio determinado para el módulo de elasticidad en ensayos de probetas pequeñas libres de defectos se usa en los cálculos de deformación, en los casos en que un determinado número de elementos trabajen en conjunto. Para elementos individuales, en los cuales es esencial una limitación por deformación, se recomienda el uso del módulo mínimo de elasticidad a la flexión.

$$E_f \text{ mín.} = E_f - 2,33 s_{E_f}$$

En la determinación de las fatigas básicas, se ha tomado como probabilidad razonable, la de obtener 1 vez en 100, un valor menor al valor de resistencia mínimo establecido, excepto en el caso de la compresión normal en la cual dicha probabilidad se ha fijado de 1 en 40, debido a que un elemento sometido a tal esfuerzo no falla repentinamente y él puede soportar una carga considerable aun después de haber alcanzado la carga máxima (coeficiente de la desviación estándar igual a 1,96). En cuanto al factor de seguridad, se usa el valor 2,25 para la resistencia de flexión, compresión normal y cizalle, y para la compresión paralela, el valor es de 1,4 por las razones ya explicadas..

Métodos usados en Estados Unidos de Norteamérica

Hasta el año 1967, en Norteamérica se determinaba la fatiga básica aplicando sucesivos coeficientes reductores de resistencia a los valores medios determinados en el ensayo de probetas libres de defectos, en estado verde. Para determinar la tensión unitaria básica para la resistencia a la flexión, los coeficientes eran:

0,75	:	para considerar la variabilidad de la madera;
0,56	:	para convertir la resistencia determinada en un ensayo de corta duración, en la correspondiente a una carga de larga duración;
0,60	:	como coeficiente de seguridad; y
(0,90 – 1,10)	:	según fuese el comportamiento que se le conociese a la especie en la construcción.

Resultaba un coeficiente acumulado de aproximadamente 0,25, o lo que es lo mismo, un factor de seguridad de 4, aplicado directamente al módulo de rotura en estado verde. La fatiga básica a la flexión quedaba determinada por:

$$\sigma_f = 0,75 \times 0,56 \times 0,60 \times 1,0 \bar{R}_f = 0,25 \bar{R}_f = \frac{\bar{R}_f}{4}$$

Un proceso similar se aplicaba para determinar las fatigas básicas correspondientes al resto de las propiedades resistentes.

Recientemente, en 1968 y específicamente en la norma ASTM D 245-68T se ha renovado este procedimiento estableciendo un método análogo al usado en Inglaterra. Este método determina las diferentes fatigas básicas, tomando como probabilidad razonable la de obtener 5 veces en 100, un valor menor al valor de resistencia mínimo establecido y aplicando a este valor mínimo, un factor de seguridad que varía entre 1,5 y 5,3 según sea la propiedad resistente.

- a) **Flexión.** Se usa como base el valor medio del módulo de rotura (R_f) y la fatiga básica a la flexión (σ_f) queda expresada por:

$$\sigma_f = \frac{\bar{R}_f - 1,645 s R_f}{2,1}$$



La fatiga básica resultante corresponde a madera verde libre de defectos, con carga de larga duración y para una altura de 5 cm (2"), por lo cual requiere un ajuste adicional para considerar el efecto de la altura de la viga. Este factor (F) se puede obtener de la fórmula de Bohannon:

$$F = \left(\frac{2}{h} \right)^{1/9}$$

en que:

F = factor de reducción por altura

h = altura del elemento, en pulgadas

El factor 2,1 incorpora un factor para ajustar el valor a una duración prolongada de la carga y un coeficiente real de seguridad. Este valor debe ser de 2,3 en el caso de madera de densidad alta, debido a la dificultad que existe en la determinación de las características reductoras.

- b) **Compresión paralela a las fibras.** Se usa como base el valor unitario de resistencia máxima ($\bar{R}_C$), quedando la fatiga básica a la compresión paralela (σ_c) determinada por:

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}_C - 1,645 \text{ } s_{R_C}}{1,9}$$

La fatiga básica resultante corresponde a madera verde libre de defectos, sometida a carga de larga duración. El valor de 1,9 incorpora el factor para ajustar la resistencia a carga de larga duración y un coeficiente de seguridad. Este factor debe ser de 2,1 cuando se aplica a maderas de densidad alta, debido a la dificultad que existe en la determinación de las características reductoras de resistencia.

- c) **Compresión normal.** Se usa como base el valor medio de la tensión unitaria en el límite de proporcionalidad (σ) quedando la fatiga básica definida por:

$$\sigma_{cn} = \frac{\sigma}{1,5}$$



El factor de 1,5 está compuesto por un factor de ajuste para considerar las diversas posiciones de los anillos y, por un coeficiente de seguridad.

- d) **Cizalle.** Se usa como base el valor medio de la resistencia máxima de cizalle ($\bar{R}_{CZ}$), quedando la fatiga básica de cizalle (σ_{CZ}) expresada por:

$$\sigma_{CZ} = \frac{\bar{R}_{CZ} - 1,645 s_{R_{CZ}}}{4,1}$$

El factor de 4,1 incorpora: un factor para ajustar el valor a carga de larga duración, un factor que considera las concentraciones de tensiones y un coeficiente de seguridad. La fatiga básica resultante corresponde, por lo tanto, a madera verde libre de defectos, sometida a cargas de larga duración. Este factor debe subir a 4,5 en maderas de alta densidad, debido a la dificultad que existe para determinar las características reductoras de resistencia en los casos de madera en estado verde, en las cuales se puede prever un severo agrietamiento. Se recomienda un factor igual a 4,8 en maderas de baja densidad y de 5,3 en las de alta densidad.

- e) **Módulo de elasticidad a la flexión.** Se toma como módulo de elasticidad básico al valor medio determinado de los ensayos de madera libre de defectos.

Comparación entre ambos métodos

Se compara ambos métodos a través de la aplicación de ellos a las propiedades resistentes determinadas en el álamo (*Populus nigra*) (1), y cotejando las tensiones unitarias básicas obtenidas mediante los dos procedimientos.

Las propiedades mecánicas que interesan para el álamo en estado verde son:

**CUADRO 1. PROPIEDADES MECANICAS DEL ALAMO
(POPULUS NIGRA) EN ESTADO VERDE**

Ensayo	Propiedad	Designación	Unidad	Valor medio	Desviación estándar
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Flexión	Módulo de rotura	R _f	kg/cm ²	353	32,6
	Módulo de elasticidad	E _f	ton/cm ²	50,55	3,9
Compresión paralela	Fatiga máxima	R _{cp}	kg/cm ²	162	12,7
Compresión normal	Fatiga lim. prop.	σ_{cn}	kg/cm ²	17	4,1
	Fatiga máxima	R _{cn}	kg/cm ²	40	5,3
Cizalle	Fatiga lim. prop.	R _{cz}	kg/cm ²	48	4,4
Dureza	Dureza normal	R _{dn}	kg	100	13,0

(1) Determinado según norma ASTM D 143-52

Estas propiedades se determinaron en 10 árboles provenientes de dos localidades diferentes, a saber: Rosario (provincia de O'Higgins) y Copihue (provincia de Linares). De cada árbol se obtuvieron 3 probetas para cada propiedad.

Las fatigas básicas resultantes se indican en el cuadro 2, para los dos métodos seguidos:

**CUADRO 2. COMPARACION ENTRE LAS FATIGAS BASICAS
OBTENIDAS POR LOS METODOS USADOS EN INGLATERRA Y USA**

Especie	Método usado en	Fatiga básica para las propiedades que se indican					
		Flexión kg/cm ²	Compr. paralela kg/cm ²	Compr. normal kg/cm ²	Tracción paralela kg/cm ²	Cizalle kg/cm ²	Módulo de elasticidad ton/cm ²
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Alamo (<i>P. nigra</i>)	Inglaterra	126	95	13	126	17	50,55
	U S A	143*	75	11	143	10	50,55

* La fatiga básica obtenida con el método norteamericano corresponde a vigas de 5 cm de altura. Para vigas de alturas mayores, debe procederse al ajuste indicado en la página 19.

Como se puede observar, el método usado actualmente en Norteamérica es más conservador que el usado en Inglaterra, especialmente en lo que se refiere a las fatigas básicas que se obtienen para la compresión paralela y cizalle. Respecto a la flexión, con ambos métodos se obtienen tensiones unitarias básicas similares para vigas cuyas alturas están comprendidas entre 10 cm (4") y 15 cm (6"), ésto debido a la corrección por altura que se recomienda para la fatiga básica a la flexión, en el método norteamericano.

Cabe recordar que tanto Inglaterra, Australia y Estados Unidos usan probetas de 5 x 5 cm de sección transversal en los ensayos. Esta dimensión es la especificada por la norma ASTM que es la que se ha seguido en los ensayos de la gran mayoría de las especies chilenas.

CLASIFICACION DE LA MADERA POR RESISTENCIA. RAZON DE RESISTENCIA Y FATIGAS ADMISIBLES

Clasificación de la madera por resistencia. Generalidades

Las piezas de madera, tal como salen del aserradero, presentan gran variación en calidad y apariencia debido a la presencia de nudos, desviaciones de fibras, grietas y otras características. Lo anterior significa que existe un amplio rango de variación en su resistencia, utilidad y valor. Por lo tanto, uno de los requisitos para el ordenamiento del mercado de la madera es el establecimiento de grados o clases de calidad que permitan usar siempre una misma calidad de madera para un mismo propósito, que provean al comprador y vendedor de un criterio mediante el cual puedan precisar el tipo y calidad de la madera que se comercia y, finalmente, que permitan uniformar la producción a través de la clasificación según estos grados.

Existen dos formas de clasificar la madera: por aspecto y por resistencia.

La clasificación por **aspecto** se establece en base a una inspección visual de las características físicas de las piezas, dando especial importancia a la presentación de la madera para aquellos usos en que su principal requerimiento es el aspecto. Este tipo de clasificación no considera la resistencia de las piezas clasificadas.

La clasificación de la madera por **resistencia** se establece en base a la presencia de los defectos que influyen sobre su resistencia, tales como: nudos, fibras desviadas, grietas, etc. El método consiste en definir y limitar las características o defectos de la madera que se relaciona con su resistencia, para cada grupo o clase que se desee establecer.

Se puede decir que la función de una especificación eficiente de clasificación de madera estructural por resistencia, es la de agrupar madera de cualquier especie en clases o grados de calidad, definiendo apropiadamente o limitando las características admisibles que afectan la resistencia dentro de esos grupos o clases. De esta manera, se asegura una resistencia mínima definida en cada uno de los grupos, y se obtiene una máxima eficiencia en el uso de la especificación.

La clasificación de la madera no puede considerarse como una ciencia exacta, debido a que está basada en una inspección visual de cada pieza en la cual se avalúan la ubicación, el tamaño y naturaleza de los nudos y otros defectos que aparecen en la superficie. Esta operación descansa exclusivamente en el criterio del clasificador.

Se recomienda que la descripción de un grado se haga basándose en las piezas más débiles admitidas en cada grupo, en el interés de mantener reglas simples facilitando así el trabajo del clasificador. Como resultado se obtendrá que la calidad media de un grado determinado es bastante mejor que la mínima establecida, puesto que los defectos de tamaño máximo no son frecuentes y en muchas piezas existe un solo tipo de aquellos defectos que controlan la clasificación.

Defectos de la madera que afectan su resistencia

Las características o defectos que influyen sobre la resistencia de la madera son:

Nudos

Es la porción de una rama inserta en la madera. Al considerarse el efecto de los nudos sobre la resistencia de la madera, debe tenerse presente que un nudo completo es, aproximadamente, de forma cónica con la cúspide hacia la médula del tronco y que la sección que queda sometida al corte es una sección cónica. La forma de la sección expuesta variará con la dirección del corte, resultando de ello diferentes tipos de nudos: circulares, ovalados, alargados, etc.

El efecto debilitador de un nudo es ocasionado por la desviación local de las fibras de la madera que él produce y no por la posible inferior calidad del material del cual el nudo está compuesto. El tamaño de un nudo es una medida que las desviaciones de fibras que él ocasiona y la influencia del nudo sobre la resistencia está determinada por su posición y por el área de su proyección sobre la sección transversal de la pieza.

Se ha establecido (20) una correlación entre la resistencia de un elemento y su **razón de nudos**, esto es, la razón formada entre el tamaño del nudo y el ancho de la cara o canto en el cual aparece. En elementos sometidos a flexión, la influencia exacta depende grandemente de la posición del nudo respecto de la distribución de tensiones que se producen en la sección transversal del elemento.

Al establecer reglas de clasificación, es frecuente permitir nudos grandes en el centro de la cara, no así en o cerca de los cantos, debido a la diferencia de tensiones que existe en ambas zonas.

Debido a la gran influencia que tiene el tamaño de los nudos sobre la resistencia a la tracción, se recomienda que, en elementos traccionados, los nudos sean limitados a un tamaño mínimo.

Desviaciones de las fibras

Se designa así al alejamiento de las fibras de la madera con respecto a una línea paralela a los cantos de la pieza. Si un elemento contiene fibras que forman un ángulo con su eje longitudinal y está sometido a esfuerzos de tracción o compresión, se inducen componentes de estas tensiones en dirección normal a las direcciones de las fibras que producen un considerable debilitamiento de la resistencia de la pieza en el sentido longitudinal. Además, las desviaciones pronunciadas de las fibras ocasionan deformaciones excesivas con los cambios del contenido de humedad.

El efecto de las fibras desviadas sobre las propiedades resistentes es mucho mayor en las piezas de tamaño estructural que en las probetas pequeñas libres de otros defectos. Esto se debe a que las tensiones causadas por las contracciones en el secado son mayores en los elementos de grandes dimensiones que contienen defectos, las cuales se incrementan aún más en zonas donde existen desviaciones de fibras.

Para tener en cuenta lo anterior, se acepta que la reducción de la resistencia ocasionada por las desviaciones de las fibras sea, a lo menos, dos veces mayor en piezas de dimensiones estructurales que la correspondiente a probetas pequeñas. Las limitaciones que se fijan para considerar este defecto en las reglas de clasificación, se establecen de acuerdo a lo señalado.

A pesar de que el efecto de la desviación de la fibra es menor en la sollicitación de compresión paralela que en el correspondiente a la flexión, la diferencia no es lo suficientemente grande como para justificar diferentes límites en las clasificaciones de elementos sometidos a compresión o flexión.

Velocidad de crecimiento

La velocidad de crecimiento se mide, normalmente, a través del número de anillos de crecimiento que existen en un largo de 25 mm, medido según el radio del árbol. Entre la resistencia y la velocidad de crecimiento no existe una correlación tan alta como la que se verifica entre la resistencia y la densidad o peso específico. Se puede decir que, en las especies coníferas, el porcentaje de madera de verano (madera tardía) da una pauta bastante razonable de las propiedades resistentes y que anillos muy anchos, a menudo contienen una pequeña proporción de madera de verano.

La velocidad de crecimiento puede considerarse de valor limitado en la evaluación de la resistencia de la madera, aun cuando ella influye en su calidad en otros aspectos. Es conveniente si, establecer una limitación al ancho de los anillos con el fin de que los grados o clases más altas aporten una buena calidad de madera, especialmente para ensambles y propósitos similares.

Fisuras, grietas, partiduras y rajaduras

Una fisura es una separación de las fibras según un plano longitudinal de la pieza, que puede tomar el nombre de grieta, rajadura o partidura, según sea su característica. Estos defectos son críticos en piezas que trabajan a flexión, pues reducen el área del elemento sometida a las tensiones de cizalle que se originan en la flexión. Su efecto es directamente proporcional a la razón formada por la proyección de la profundidad de la fisura sobre el ancho o espesor de la pieza y el propio ancho o espesor de ella. Así, una pieza rectangular sometida a flexión que contiene una fisura cuya profundidad es igual a la mitad de su ancho, disminuirá su resistencia a la mitad de la que tendría si no existiese tal defecto.

Canto muerto

Se designa como canto muerto a la presencia de corteza o a la falta de madera en una o más aristas de la pieza. La cantidad de canto muerto se limita por consideraciones tales como: superficie de aplastamiento, clavado y apariencia, más bien que por su efecto sobre la resistencia, el cual es generalmente pequeño.

Cuando se combinan nudos y canto muerto, este efecto sobre la resistencia se incrementa, pero raramente se presenta el caso de tener, al mismo tiempo, nudos y canto muerto de dimensiones máximas. El efecto del canto muerto es pequeño comparado con el de los nudos y usualmente es innecesario considerar ambos defectos al mismo tiempo en una clasificación por resistencia.

Respecto a la resistencia al aplastamiento de una pieza con canto muerto, se puede aceptar que existe una relación lineal inversa entre el ancho del canto muerto en una cara o canto y la resistencia al aplastamiento de ella.

Alabeos

Se llama alabeo a cualquier deformación que pueda experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o ambos. Incluye la acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura o combinaciones de ellas.

La **acanaladura** es un alabeo en la dirección transversal; la **arqueadura** se refiere al alabeo en la dirección longitudinal; la **encorvadura** es la desviación que tiene la pieza longitudinalmente y en el plano de sus caras, con respecto a una línea recta que une sus extremos; finalmente, la **torcedura** es la desviación helicoidal de la pieza.

Estos defectos normalmente no afectan la resistencia, ya que las limitaciones que para ellos se hacen se originan por otras razones, por ejemplo, peligro de pandeo, linealidad de los elementos, etc.

Mancha

Es la alteración del color natural de la madera, generalmente de una tonalidad azul negruzca, debido al ataque de ciertos hongos. Esta alteración sólo afecta la presentación de la madera, pero no su resistencia mecánica.

Pudrición

Es la desintegración de la madera debido a la acción de hongos. La madera seriamente putrefacta tiene muy poca resistencia mecánica y la pudrición, cualquiera sea su grado, no debe ser aceptada en elementos de madera que soportarán cargas.

Bolsillos

Son separaciones que se presentan entre los anillos anuales y que se producen durante el crecimiento del árbol. Usualmente contienen resina o corteza. Deben medirse en la superficie en la cual aparecen. No tienen un efecto considerable sobre la resistencia.

Médula

Es el cilindro blando y de color oscuro que se encuentra en el centro de la troza. Se limita debido a la nula resistencia que tiene, dejando a la pieza con una perforación o falta de material resistente en la posición de la médula en la pieza.

Reglas de clasificación por resistencia. Razón de resistencia

Las reglas de clasificación por resistencia consisten en la definición de los diversos grados o clases de madera, mediante la especificación de las dimensiones máximas admisibles de los defectos que influyen sobre la resistencia, para cada uno de los grupos definidos.

Este conjunto de defectos provocarán una reducción de la resistencia de una pieza respecto a la que ella tendría al no presentarlos. El coeficiente que expresa tal reducción se ha dado en llamarlo **razón de resistencia**. Si la razón de resistencia para determinado grado es de 0,75, significa que en ese grado se han especificado defectos con dimensiones máximas tales que reducen la resistencia de los elementos al 75% de la que ellos tendrían si no presentarían tales características reductoras.

Las reglas de clasificación se formulan fijando primero las razones de resistencias y luego especificando las limitaciones para todos los defectos, de modo que ellos den las razones de resistencia establecidas.

En los diversos países se han establecido entre 3 y 4 grados para las diferentes especies, cuyas razones de resistencias varían, en general, entre 40% y 75%.

En el cuadro 3 se dan los límites de los defectos definidos para una razón de resistencia de 75% y que corresponden a las reglas de clasificación usadas en Inglaterra (20) para maderas de coníferas.

Nudos

Los diámetros máximos admisibles de nudos para diferentes anchos están indicados en el cuadro 3:

CUADRO 3. DIMENSIONES MAXIMAS DE NUDOS ADMISIBLES EN UNA CLASIFICACION CON RAZON DE RESISTENCIA DE 75 0/o

Ancho nominal de la cara	Nudos en el canto de una viga	Nudos en la parte central de la cara de una viga o en cualquier cara de un elemento comprimido	Nudos en el borde (cerca de los cantos) de la cara de una viga o en cualquier cara de un elemento traccionado
mm	mm	mm	mm
25,4	6	6	—
38,1	10	10	—
50,8	13	13	3
63,5	16	16	6
76,2	19	19	10
102	25	25	13
127	32	32	16
152	38	38	19
178	41	44	22
203	44	51	29
229	48	51	32
254	51	60	35
279	51	64	38
305	54	70	41

NOTA: La denominación de la ubicación de los nudos se visualiza mejor en la figura 1 que está a continuación.

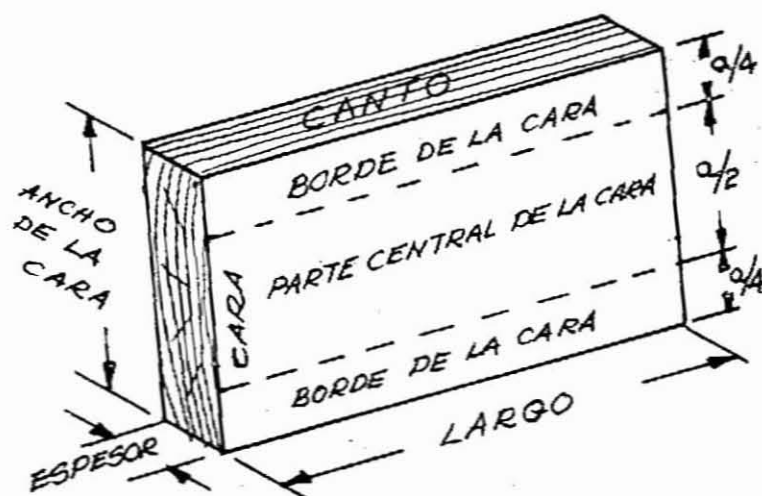


Fig. 1. Denominación de los diferentes elementos de una pieza de madera.

Velocidad de crecimiento, mínimo: 8 anillos por 25 mm

Fisuras, máxima profundidad: $\frac{1}{4}$ del espesor

Desviación de las fibras: no más inclinada de 1 en 14

Canto muerto: no debe exceder al $\frac{1}{8}$ de cualquier cara

Bolsillos de resinas: no se admiten con ancho mayor de 3 mm.

Para anchos menores a los 3 mm se debe aplicar el límite de las fisuras.

Fatigas admisibles

Las fatigas admisibles para una determinada especie y para un grado de resistencia específico definido para ella, se obtienen multiplicando las tensiones básicas determinadas para las diversas propiedades resistentes de esa especie, por la razón de resistencia que se ha establecido para el grado o clase definido.

Si para el álamo existe un grado al cual se le ha establecido una razón de resistencia de 75%, las fatigas admisibles para las diferentes propiedades resistentes de él, tomando como referencia los valores de fatigas básicas obtenidas mediante el procedimiento inglés, serían:

Flexión	:	$126 \times 0,75$	$= 93 \text{ kg/cm}^2$
Compresión paralela	:	$95 \times 0,75$	$= 71 \text{ kg/cm}^2$
Compresión normal	:	$13 \times 1,00$	$= 13 \text{ kg/cm}^2$ *
Tracción paralela	:	$126 \times 0,75$	$= 93 \text{ kg/cm}^2$
Cizalle	:	$17 \times 0,75$	$= 13 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad a la flexión	:	$50.550 \times 1,0$	$= 50.550 \text{ kg/cm}^2$ **

-
- * En el caso de la compresión normal se toma una razón de resistencia mayor, la cual, para los grados altos, puede alcanzar a 100%. La razón de ello se basa en que a esta propiedad sólo la afecta el defecto llamado canto muerto.
- ** En el caso del módulo de elasticidad se toma una razón de resistencia de 100%, pues se ha demostrado experimentalmente que los defectos que se consideran en la clasificación por resistencia no alteran mayormente esta propiedad.

En este método de deducción de las fatigas admisibles, se acepta que una misma característica reductora de resistencia tenga un efecto similar en las diferentes especies.

Si a través de ensayos de laboratorio se demuestra que en piezas de dimensiones estructurales, y para determinadas propiedades y especies, esta hipótesis no se cumple, las fatigas admisibles correspondientes deberán ajustarse convenientemente.

MODIFICACION DE LAS FATIGAS ADMISIBLES Y OBTENCION DE LAS FATIGAS DE DISEÑO

Los valores de las fatigas admisibles que se determinan, siguiendo el método descrito, se utilizan en elementos de madera sometidos a condiciones específicas de diseño y uso. Sin embargo, pueden aplicarse a madera en otras condiciones, efectuando modificaciones de sus valores de acuerdo a las condiciones particulares a que estará sometido el elemento. Las principales modificaciones se refieren al estado de secado de la madera, a la

duración de la carga aplicada, a solicitaciones severas (sismos, nieve) y a otros tipos de condiciones especiales.

La deducción de las tensiones admisibles se hace a partir de las propiedades mecánicas en estado verde y en ella, además, se ha contemplado un coeficiente para transformar la corta duración de la carga de ensayo en una carga de duración permanente. En el caso de usar madera en estado seco y sometida a cargas de corta duración, deberán modificarse las fatigas admisibles de acuerdo al incremento de resistencia que se obtiene cuando la madera pierde humedad o cuando en ella se aplican cargas cuya duración es pequeña. De la misma forma, cuando existan condiciones severas de uso o de exposición de la madera, las fatigas admisibles a ella asignadas, deberán sufrir una reducción de acuerdo a la experiencia que se haya logrado en casos semejantes.

Los factores de modificación (17) de las fatigas admisibles se pueden dividir en tres clases:

- Factores de modificación de aplicación general a cualquier tipo de elemento estructural.
- Factores de modificación para vigas y elementos sometidos a flexión.
- Factores de modificación para columnas o pilares y elementos sometidos a compresión.

Factores de modificación de aplicación general

Por secado

Las fatigas admisibles, que se obtienen por este método, son aplicables a maderas que durante su uso tendrán un contenido de humedad igual o superior al correspondiente al punto de saturación de las fibras. Se ha dicho que la resistencia de la madera sin defecto aumenta con la disminución de la humedad, bajo el punto de saturación de las fibras, sin embargo, para espesores mayores que 4", este incremento puede ser neutralizado por las contracciones que se desarrollan en la pieza.

Las modificaciones de las fatigas admisibles que se indican en el cuadro 4, deben aplicarse sólo a piezas de 4" de espesor o menos, y cuyo contenido de humedad de 190/o o 150/o, respectivamente, no será sobrepasado durante su uso.

CUADRO 4. MODIFICACIONES DE LAS FATIGAS ADMISIBLES, DEBIDAS AL SECADO, PARA PIEZAS DE ESPESOR IGUAL O MENOR A 4"

Propiedad	Porcentaje de aumento de la fatiga admisible * determinado respecto a la obtenida para el estado verde, para una humedad de	
	19%/o	15%/o
Flexión	25%/o **	35%/o **
Tracción paralela	25%/o **	35%/o **
Cizalle	8%/o	13%/o
Compresión normal	50%/o *	50%/o *
Compresión paralela	50%/o	75%/o
Módulo de elasticidad	14%/o	20%/o

- * El aumento en la compresión normal es igual para cualquier humedad menor a la del punto de saturación de las fibras, pues las fibras exteriores que son las que se secan más rápidamente, son también las que soportan el mayor efecto de esta resistencia.
- ** Para estas propiedades, el incremento señalado no debe sobrepasar la razón formada por la resistencia obtenida en el estado seco y la correspondiente al estado verde, en una especie dada.

El incremento asignado al contenido de humedad de 15%/o debe aplicarse sólo a madera aserrada a esa humedad o a una menor que ella.

Para piezas comprimidas con humedad inferior al punto de saturación de las fibras y espesores mayores que 4", se recomienda tomar un incremento de 10%/o por sobre la fatiga admisible determinada para madera en estado verde.

El módulo de elasticidad de madera con espesor mayor que 4" en estado seco, puede determinarse aumentando el valor del módulo de elasticidad dado para el estado verde en 20%/o.

Por pudrición de la carga

Los valores de las fatigas admisibles que se obtienen por este método se han deducido considerando cargas permanentes en las piezas. La madera

posee la favorable característica de soportar sobrecargas de considerable magnitud aplicadas durante cortos períodos.

Esto es importante para solicitaciones provenientes de sismos, vientos e impactos, para las cuales es posible incrementar las tensiones admisibles deducidas. Estos incrementos son aplicables también a cargas intermitentes; tomando como duración de la carga, la suma de los tiempos en los cuales ella actúa.

Ensayos en el Forest Products Laboratory de Madison, U.S.A., (2), han permitido establecer una relación entre la resistencia y la duración de la carga.

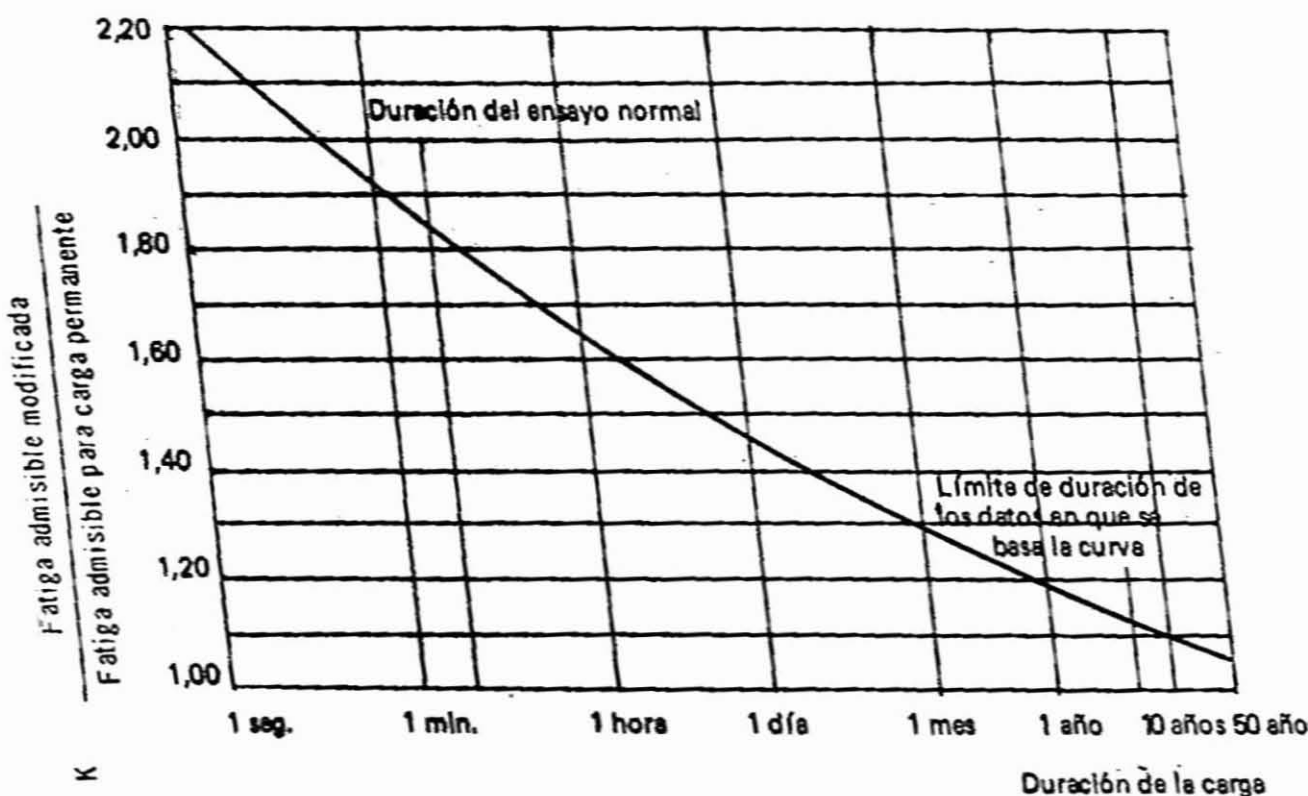


Gráfico 1. Relación entre la resistencia y la duración de la carga

Esta curva es una representación aproximada de los datos extraídos principalmente de los ensayos de flexión en las especies norteamericanas Douglas-fir y Sitka spruce. Se ha demostrado, a través de numerosos ensayos, que esta relación se mantiene en otras especies, y para algunas propiedades tales como tracción, compresión paralela, compresión normal y cizalle horizontal.

Por peligro de pudrición

La pudrición se excluye de la mayoría de las clasificaciones por resistencia debido a que no existe un método numérico satisfactorio que pueda apreciar sus efectos. No es posible asignar fatigas admisibles a maderas podridas. En algunas clasificaciones se permite la presencia de esta descomposición en los nudos, con tal que ella no alcance a la madera sana que los rodea. Si la pudrición es detectada en o cerca de las áreas altamente solicitadas, el elemento se debe reemplazar.

Cuando se usa madera sin impregnar y las condiciones son favorables a la putrefacción, la pieza puede perder parte de su resistencia antes que el defecto sea detectado. En este caso, conviene reducir las tensiones admisibles para asegurar la pieza. La pudrición afecta especialmente a la resistencia al impacto y a la rigidez del elemento. La reducción de las fatigas admisibles por esta causa tiene como único fin proveer a la pieza de una protección temporal hasta que el defecto sea ubicado y se proceda entonces a tomar las providencias del caso. Es necesario insistir en que no existe una tensión admisible que dé seguridad a la madera podrida.

Los ingleses dan los siguientes valores para este factor:

- Si existe peligro de pudrición moderada; por ejemplo, para madera que ocasionalmente se humedece y se seca..... 0,85
- Si el peligro es de una putrefacción severa, como en el caso de madera que permanecerá siempre húmeda 0,70

Por tratamiento de la madera

Al establecer las fatigas admisibles, puede que sea necesario considerar las posibles reducciones de la resistencia ocasionadas por las altas temperaturas y presiones inherentes al proceso de tratamiento. Los diferentes ensayos realizados en Estados Unidos han demostrado que es conveniente una reducción de 25% o más para las tensiones de flexión y de compresión normal, dependiendo esto de las condiciones adoptadas. En cambio, las tensiones de compresión paralela y el módulo de elasticidad son afectados en menor grado. Finalmente, el efecto sobre las tensiones de cizalle debe estimarse a través de una inspección de las rajaduras y grietas que pudieran aparecer después del proceso.

Estas reducciones de la resistencia pueden disminuirse en general restringiendo las temperaturas, los períodos de calor y las presiones tanto como sea posible, con tal que la absorción y la penetración del preservante, en estas nuevas condiciones aseguren un buen tratamiento.

Por temperatura

Los valores de las fatigas admisibles deducidas por los procedimientos que se han señalado, son aplicables a maderas que van a usarse a temperatura ordinaria. La resistencia de la madera no sufre alteraciones cuando se la expone ocasionalmente a temperaturas ligeramente superiores a los 65° C. Cuando el período de exposición es prolongado y, especialmente cuando las temperaturas son mayores a la indicada, deberán hacerse reducciones especiales.

Por trabajo en conjunto

La mayoría de los elementos estructurales que se usan en la construcción, tales como vigas, pilares, se diseñan para efectuar un trabajo en conjunto. Sin embargo, las fatigas admisibles se obtienen del ensayo de un elemento solicitado a un determinado esfuerzo. Es por ello que algunas especificaciones de diseño aceptan, para elementos que trabajan en conjunto a fin de soportar una carga común, un incremento de sus fatigas admisibles en un 10% o más allá del valor asignado a la clase o grado al cual ellos pertenecen, siempre que estos elementos no estén a más de 60 cm de distancia entre sí.

Factores de modificación para elementos sometidos a flexión

Los factores de modificación que se aplican a las fatigas admisibles de vigas y de otros elementos que estén sometidos a esfuerzos de flexión son:

Por duración de la carga

Los factores de modificación que se recomiendan aplicar a las fatigas admisibles a la flexión, para diseñar una viga sometida a diferentes combinaciones de cargas son:

TIPO DE CARGA	FACTOR DE MODIFICACION
Carga muerta + sobrecarga	1,00
Carga muerta + sobrecarga + carga de nieve	1,20
Carga muerta + sobrecarga + carga de viento o sismo	1,55
Carga muerta + sobrecarga + carga de nieve + carga de viento o sismo	1,55

Los valores dados tienen como base la curva indicada en el gráfico 1. Para cualquier otro caso especial de duración de carga, es posible extraer de dicha curva el factor de modificación correspondiente.

En cuanto al módulo de elasticidad a la flexión, hay que recordar que procede de ensayos de corta duración, y que a él no se le hace ninguna reducción por concepto de duración de la carga, por consiguiente, no admite incrementos para cargas de corta duración.

Para cargas permanentes habrá que considerar los fenómenos de fluencia lenta, para lo cual es usual tomar un módulo de deformación igual a la mitad del módulo de elasticidad admisible.

Por laminación vertical

Es posible demostrar que al seleccionar dos o más piezas de madera y al evaluar su resistencia media combinada, ésta es superior al valor mínimo estadísticamente determinado, en el cual se basa la determinación de las fatigas admisibles. En tales casos, se justifica un incremento de las tensiones admisibles. Esto se presenta en la madera laminada, siempre que la unión entre las diferentes lamelas sea lo suficientemente fuerte que asegure su actuación como un solo elemento y que cada una de ellas esté sometida a un mismo esfuerzo. Lo anterior se obtiene en una viga provista de lamelas verticales, perfectamente unidas entre sí mediante clavos, adhesivos u otro tipo de conector de modo que su plano de unión sea paralelo al plano longitudinal de la flexión. Se ha visto que éste es el único caso en que las diferentes lamelas están cargadas en forma semejante. Los factores de modificación que se recomiendan son:

NUMERO DE LAMELAS	FACTOR DE MODIFICACION PARA LAS FATIGAS DE FLEXION
1	1,00
2	1,33
3	1,49
4	1,58
5	1,64
6	1,69
7	1,72
8	1,74

No es posible aplicar estos factores al caso de laminación horizontal ya que las diversas piezas quedan sometidas a esfuerzos de diferentes magnitudes, según sea su ubicación respecto a la altura de la viga. La ventaja de este tipo de laminación nace de la posible combinación de madera de diferente calidad y de las diversas formas y dimensiones que se pueden lograr con ella.

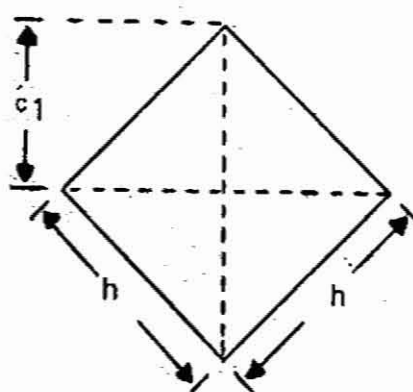
Factores de forma

Debido a la peculiar conducta de la madera frente a esfuerzos de flexión, es necesario aplicar factores de modificación, conocidos como factores de forma, a las fatigas admisibles usadas en el diseño de vigas cuyas secciones transversales son diferentes a la sección rectangular.

Una viga de sección cuadrada, colocada con una de sus diagonales en posición vertical, soportará la misma carga que una viga de igual sección, cargada sobre uno de sus lados. Como el momento de inercia (I) de un cuadrado con relación a un eje neutro perpendicular a una de sus caras, es igual al momento de inercia respecto a una diagonal, y como el módulo o momento resistente (W) de la viga es directamente proporcional a I e inversamente proporcional a la distancia de la fibra más alejada al eje neutro C , es necesario emplear un factor de forma en las fórmulas de flexión usuales.

La distancia c del eje neutro a las fibras extremas en una viga cuadrada con una diagonal vertical es $\sqrt{2}$ veces mayor que la correspondiente a una viga con dos de sus caras verticales. Ambas vigas sostendrán la misma carga, y un factor igual a $\sqrt{2} = 1.414$ debe aplicarse a la fórmula usual de flexión para calcular el momento resistente de una viga cuadrada con una diagonal en posición vertical, así la fórmula se convierte en:

$$M = 1,414 \sigma_f \cdot \frac{I}{c} = 1,414 \cdot \sigma_f \cdot W_1$$

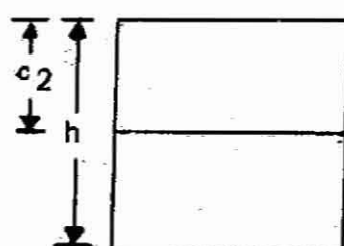


$$I_1 = \frac{h^4}{12}$$

$$c_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} h$$

$$W_1 = \frac{\sqrt{2}}{12} h^3$$

$$W_1 = \frac{h^3}{6\sqrt{2}}$$



$$I_2 = \frac{h^4}{12}$$

$$c_2 = \frac{h}{2}$$

$$W_2 = \frac{h^3}{6}$$

$$W_2 = 1,414 W_1$$

Fig. 2. Determinación de los factores de forma para una viga cuadrada sometida a flexión.

en que:

W_1 = módulo de flexión de un cuadrado respecto de una diagonal de él.

Una condición similar existe para una viga de sección circular. Se ha demostrado, a través de ensayos, que una viga de sección circular sustentará prácticamente la misma carga que una viga cuadrada de área equivalente. Sin embargo, el módulo de flexión $W = I/c$, para un cuadrado es 1,18 veces mayor que el de un círculo de igual área. Luego, para vigas de sección circular debe agregarse un factor de forma igual a 1,18 a la fórmula usual, de modo que:

$$M = 1,18 \sigma_f \cdot W_\circ = 1,18 \sigma_f \cdot \frac{I_\circ}{c}$$

en que:

M = momento resistente a la flexión
 σ_f = fatiga de flexión
 $I_\circ$ = momento de inercia de un círculo
 $W_\circ$ = módulo de flexión de un círculo

Por altura

La altura de un elemento de madera sometido a flexión influye sobre la resistencia que él tiene a este tipo de esfuerzo. Esta influencia es más notoria sobre el módulo de rotura que sobre la tensión en el límite de proporcionalidad. Varios investigadores han estudiado esta materia, entre los que se destacan: Newling, Trayer, Freas y Selbo, Bohannon, etc.

Cada uno de ellos ha dado una expresión para cuantificar este efecto, resultando la de Bohannon la más usada:

$$F = (2/h)^{1/9}$$

en que:

$2/h$: es la razón formada entre la altura en pulgadas, de la probeta estándar ASTM de flexión y h , la altura, en pulgadas de la viga a la cual se desea aplicar el efecto de la altura.

Los valores del factor F que resultan, para las diferentes alturas y que se deben aplicar a la fatiga admisible determinada en base a la probeta estándar son:

ALTURA (cm)	COEFICIENTE F
5	1.000
10	0,928
15	0,887
20	0,859
25	0,838
30	0,821
35	0,807
40	0,795
45	0,785
50	0,776
60	0,760
70	0,747
80	0,736
90	0,727
100	0,718

Factores de modificación para elementos sometidos a compresión

Los factores de modificación que se aplican a las fatigas admisibles de elementos sometidos a compresión son los siguientes:

Por inclinación de la carga

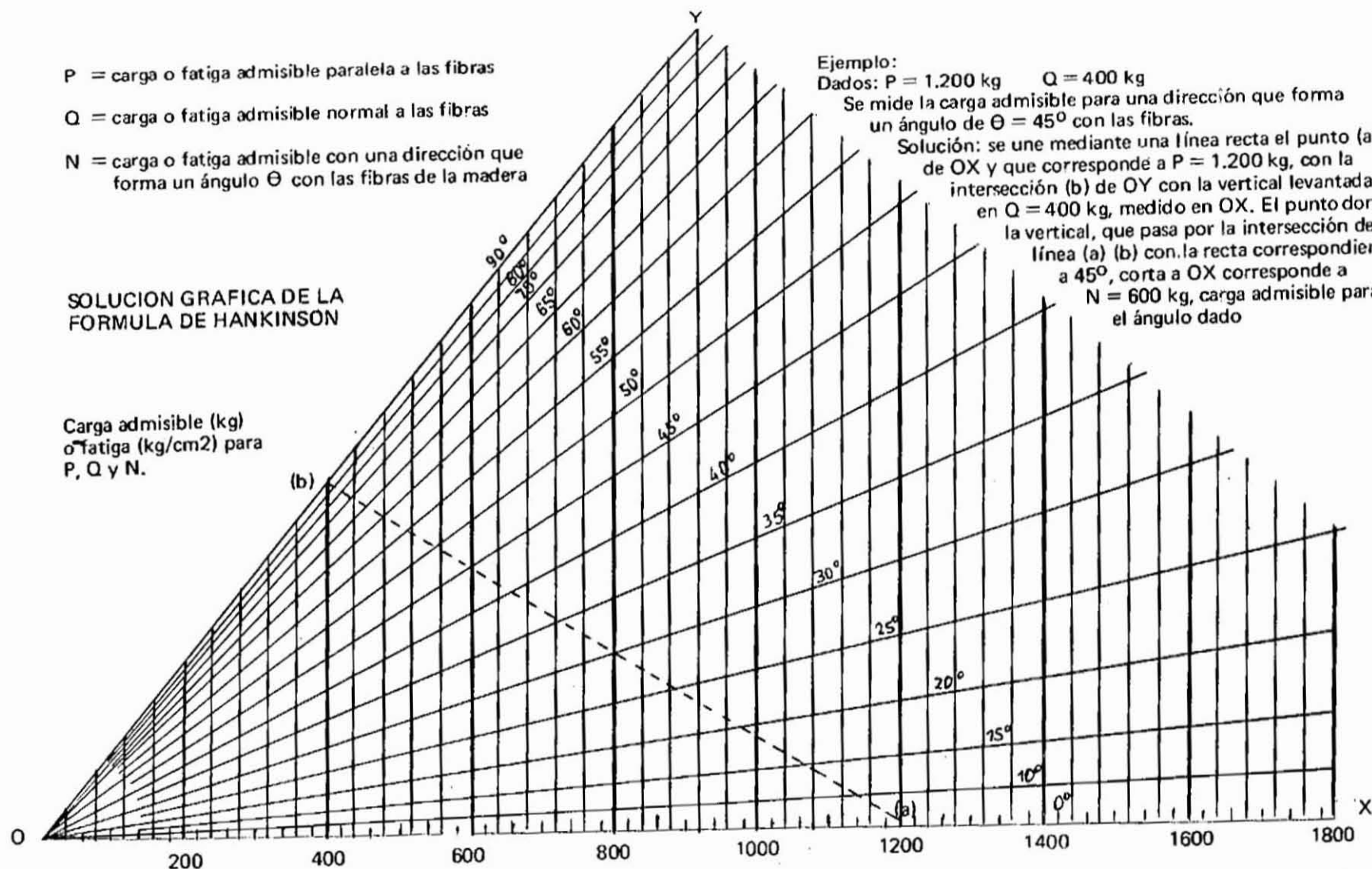
La resistencia de la compresión de la madera depende del ángulo que forma la dirección de la carga con respecto a las fibras de la madera. Es máxima cuando la carga es paralela a las fibras y mínima cuando es normal a ellas. La variación de resistencia que existe entre estos dos extremos se puede determinar mediante la fórmula de Hankinson:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{cp} \cdot \sigma_{cn}}{\sigma_{cp} \sin^2 \alpha + \sigma_{cn} \cos^2 \alpha}$$

P = carga o fatiga admisible paralela a las fibras
 Q = carga o fatiga admisible normal a las fibras
 N = carga o fatiga admisible con una dirección que forma un ángulo θ con las fibras de la madera

SOLUCION GRAFICA DE LA FORMULA DE HANKINSON

Carga admisible (kg)
 o fatiga (kg/cm²) para
 P, Q y N.



Ejemplo:

Dados: P = 1.200 kg Q = 400 kg

Se mide la carga admisible para una dirección que forma un ángulo de $\theta = 45^\circ$ con las fibras.

Solución: se une mediante una línea recta el punto (a) de OX y que correspondió a P = 1.200 kg, con la intersección (b) de OY con la vertical levantada en Q = 400 kg, medido en OX. El punto donde la vertical, que pasa por la intersección de la línea (a) (b) con la recta correspondiente a 45° , corta a OX corresponde a N = 600 kg, carga admisible para el ángulo dado

GRAFICO 2. ABACO DE SCHOLTEN (13) PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MADERA A CARGAS QUE FORMAN UN ANGULO DADO CON LAS FIBRAS

en que:

- σ_a = fatiga admisible a la compresión para una carga que forma un ángulo α con las fibras
- σ_{cp} = fatiga admisible en compresión paralela
- σ_{cn} = fatiga admisible en compresión normal
- α = ángulo formado por la dirección de la carga y la dirección de las fibras

Es corriente encontrar este tipo de determinación en un ábaco que está basado en la fórmula de Hankinson (13) y que ha sido diseñado por Scholten (véase gráfico 2).

Por superficie de aplastamiento

Las fatigas admisibles son valores unitarios que generalmente varían con el área sometida a carga. Sin embargo, en la compresión normal existe una acción resistente de las fibras contiguas al área cargada cuyo efecto es el de incrementar la resistencia a este esfuerzo, especialmente en pequeñas áreas sometidas al aplastamiento.

Los valores de las fatigas admisibles que se dan para la compresión normal se deben aplicar para superficies cargadas de 6" (15 cm) o más de longitud, que estén ubicadas en cualquier lugar del elemento estructural o para áreas de cualquier magnitud que estén localizadas en los extremos de una viga, lo cual se puede apreciar mejor en la figura 3:

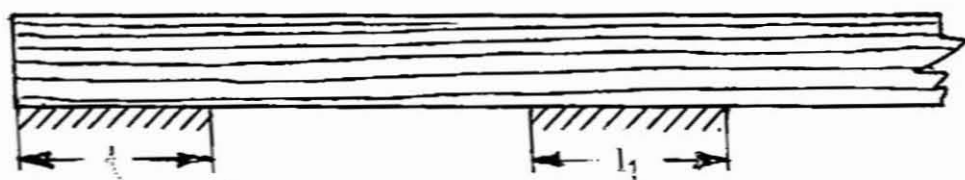


Fig. 3. Longitud de aplastamiento de una viga

- l = longitud cualquiera de aplastamiento localizada en el extremo de una viga
- $l_1 \geq 6''$ = longitud de aplastamiento ubicada en cualquier lugar de un elemento estructural

En el caso de que la superficie sometida al aplastamiento tenga una longitud menor que 6" (15 cm) o para áreas circulares de aplastamiento, cuyo diámetro es menor que el valor señalado y cuyas ubicaciones sean de 7,5 cm o

más del extremo del elemento (véase figura 4), las fatigas admisibles se aumentan de acuerdo a los factores de incremento señalados en el cuadro 5.

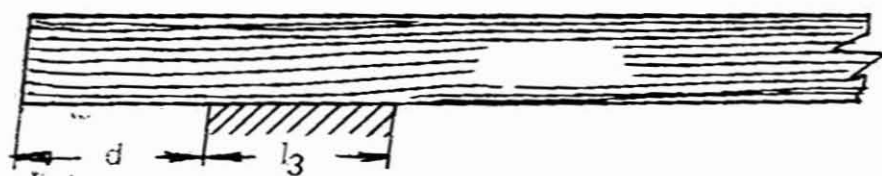


Fig. 4. Longitud de aplastamiento de una viga

$d \geq 7,5 \text{ cm}$ = distancia al extremo del elemento
 $l_3 \geq 6''$ = longitud de aplastamiento, o diámetro del área circular de aplastamiento

CUADRO 5. FACTORES DE MODIFICACION DE FATIGAS DE COMPRESION NORMAL

LONGITUD (l_3) O DIAMETRO DEL AREA SOMETIDA AL APLASTAMIENTO		FACTOR DE INCREMENTO *	
Pulgadas	mm	USA	Inglaterra
1/2"	12	1,75	1,85
1"	25	1,38	1,60
1 1/2"	37	1,25	1,45
2"	50	1,19	1,30
3"	75	1,13	1,15
4"	100	1,10	1,10
6" o más	150 o más	1,00	1,00

* Para el factor de incremento se dan los valores que se usan tanto en Estados Unidos de Norteamérica como en Inglaterra.

Por pandeo

El pandeo o flexión lateral es un fenómeno de estabilidad. Se produce en la compresión en el instante en el cual un estado de equilibrio estable se

transforma en otro de equilibrio inestable. Depende de la forma de la sección transversal, del material y longitud de la barra y sobre todo, del tipo de unión de los extremos de la barra.

Euler estableció una fórmula mediante la cual es posible determinar la carga de compresión crítica, es decir, la carga que produce la inestabilidad del sistema en un material ideal en condiciones de aplicación de carga también ideales. Posteriormente, otros investigadores perfeccionaron la expresión general de Euler, haciendo posible su aplicación a los diferentes materiales. Para la madera se establecieron diferentes fórmulas, todas ellas con el fin de complementar la expresión general de Euler.

En la mayoría de los casos, la aplicación de ellas es laboriosa y a veces innecesaria. A fin de simplificar el proceso se han establecido, en base a las mencionadas expresiones, factores de modificación que reducen las fatigas admisibles de compresión paralela, sin pandeo, a fin de obtener las tensiones admisibles que se deben aplicar a las columnas y pilares, en las cuales puede existir el peligro de pandeo.

Estos factores se han obtenido en función del grado de esbeltez de la pieza que es la razón entre la longitud de la pieza que se flexiona (l_p) y el radio de giro mínimo (r) de su sección transversal.

$$\text{esbeltez} = \frac{l_p}{r_{\text{mín.}}}$$

siendo

$$r_{\text{mín.}} = \sqrt{\frac{I_{\text{mín.}}}{A}}$$

en que:

- $I_{\text{mín.}}$ = momento de inercia mínimo
- A = área de sección transversal
- l_p = longitud de pandeo o longitud de la pieza que se flexione
- $r_{\text{mín.}}$ = radio de giro mínimo

Los factores de modificación por pandeo aparecen en el cuadro 6 que está a continuación.

CUADRO 6. FACTORES DE MODIFICACION POR PANDEO

Esbeltez $l_p/r_{\min.}$	Factor de modificación ω	Esbeltez $l_p/r_{\min.}$	Factor de modificación ω
0	1,00	80	0,50
5	0,99	90	0,41
10	0,98	100	0,34
20	0,95	120	0,24
30	0,93	140	0,18
40	0,89	160	0,14
50	0,82	180	0,11
60	0,72	200	0,09
70	0,61		

El factor ω afecta a la tensión admisible (σ_c) por compresión paralela, luego se tiene la expresión:

$$\sigma_p = \omega \cdot \sigma_c = \frac{P_{adm.}}{A}$$

en que:

- σ_p = tensión admisible para una pieza que tiene peligro a pandearse
- ω = factor de modificación por pandeo
- σ_c = fatiga admisible para la compresión paralela
- $P_{adm.}$ = carga admisible de la pieza que no provocará pandeo en ella
- A = sección o área transversal

Por duración de la carga

Los factores de modificación que se recomiendan aplicar a las fatigas admisibles a la compresión, para diseñar un pilar o columna sometida a diferentes combinaciones de carga, en función de la esbeltez, son:

**CUADRO 7. FACTORES DE MODIFICACION PARA
DIFERENTES COMBINACIONES DE CARGAS**

ESBELTEZ	FACTOR DE MODIFICACION			
	Carga muerta + sobrecarga	Carga muerta + sobrecarga + carga de nieve	Carga muerta + sobrecarga + carga de viento o sismo	Carga muerta + sobrecarga + carga de viento + carga de nieve o sismo
0	1,00	1,25	1,75	1,75
5	1,00	1,25	1,75	1,75
10	1,00	1,25	1,75	1,75
20	1,00	1,25	1,73	1,73
30	1,00	1,25	1,72	1,72
40	1,00	1,24	1,64	1,64
50	1,00	1,19	1,46	1,46
60	1,00	1,13	1,27	1,27
70	1,00	1,08	1,16	1,16
80	1,00	1,05	1,10	1,10
90	1,00	1,04	1,07	1,07
100	1,00	1,03	1,06	1,06
120	1,00	1,03	1,05	1,05
140	1,00	1,02	1,03	1,03
160	1,00	1,01	1,03	1,03
180	1,00	1,01	1,02	1,02
200	1,00	1,01	1,02	1,02

SEGUNDA PARTE

PROPOSICION DE METODOS Y VALORES

METODO PROPUESTO PARA DETERMINAR LAS FATIGAS BASICAS DE LAS MADERAS CHILENAS

Las fatigas básicas de las maderas chilenas se establecerán en base a propiedades mecánicas determinadas para el estado verde, en ensayos de probetas libres de defectos realizados de acuerdo a las prescripciones de la norma ASTM D 2555 "Establishing Clear Wood Strength Values".

Las fatigas básicas se determinarán para las siguientes propiedades: flexión, compresión paralela, compresión normal, tracción, cizalle y módulo de elasticidad a la flexión.

En la determinación de cada propiedad mecánica se deberá considerar, a lo menos, 5 árboles representativos de la especie escogidos de diferentes regiones, con selección aleatoria de los lugares del muestreo. De igual modo, cada árbol debe ser seleccionado al azar.

En la determinación de cada propiedad mecánica se deberá considerar, a lo menos, 3 probetas por árbol, haciendo un total de 15 valores para la especie. Si el diámetro medio de la especie no permitiese extraer esta cantidad, se deberán tomar tantos árboles como sea necesario para completar dicho número.

En general, para una determinada propiedad resistente, la tensión básica se determinará dividiendo su resistencia mínima probable, determinada estadísticamente, por un coeficiente de seguridad adecuado para esa propiedad.

Para la flexión, compresión paralela y cizalle, se elegirá como probabilidad razonable la de obtener 1 vez en 100 una resistencia menor a la resistencia mínima probable. Para la compresión normal dicha probabilidad será de 1 en 40.

La tensión básica para la flexión se establecerá en base al módulo de rotura (R_f) quedando su valor determinado por:

$$\sigma_f = \frac{\bar{R}_f - 2,33 s R_f}{2,25}$$

en que:

σ_f = tensión básica de la flexión, en kg/cm²

$\bar{R}_f$ = módulo de rotura medio, en kg/cm²

s_{R_f} = desviación estándar del módulo de rotura, en kg/cm²

El factor 2,25 incorpora un factor para ajustar el valor de resistencia mínima probable a una duración prolongada de la carga y un coeficiente real de seguridad. La fatiga básica resultante corresponde a madera en estado verde, libre de defectos, con carga de larga duración y para vigas con una altura de 5 cm. Para vigas de altura distinta a 5 cm se deberá recurrir a un factor de modificación, cuyos valores dependen de la altura de la viga (véase página 39, por altura).

La tensión básica para la compresión paralela se establecerá en base al valor unitario de resistencia máxima (R_c), quedando su valor determinado por:

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}_c - 2,33 s_{R_c}}{1,4}$$

en que:

σ_c = tensión básica de compresión paralela, en kg/cm²

$\bar{R}_c$ = tensión unitaria media de resistencia máxima de compresión paralela, en kg/cm²

s_{R_c} = desviación estándar de la resistencia máxima de compresión paralela, en kg/cm²

El valor 1,4 incorpora un factor para ajustar el valor de resistencia mínima probable a una carga de duración prolongada y un coeficiente de seguridad. La fatiga básica resultante corresponde a madera verde, libre de defectos y sometida a cargas de larga duración.

La tensión básica para la compresión normal se establecerá en base a la fatiga máxima (R_{cn}), quedando su valor determinado por:

$$\sigma_{cn} = \frac{\bar{R}_{cn} - 1,96 s_{R_{cn}}}{2,25}$$

en que:

- σ_{cn} = fatiga básica de compresión normal, en kg/cm²
 $\bar{R}_{cn}$ = fatiga máxima media de compresión normal, en kg/cm²
 sR_{cn} = desviación estándar de la fatiga máxima de compresión normal, en kg/cm²

El valor 2,25 incorpora un factor para ajustar el valor de resistencia mínima probable a una carga de duración prolongada y un coeficiente de seguridad.

La fatiga básica resultante corresponde a madera verde, libre de defectos y sometida a cargas de larga duración.

La tensión básica para el cizalle se establecerá en base a la resistencia máxima (R_{cz}), quedando su valor determinado por:

$$\sigma_{cz} = \frac{\bar{R}_{cz} - 2,33 sR_{cz}}{2,25}$$

en que:

- σ_{cz} = fatiga básica para el cizalle, en kg/cm²
 $\bar{R}_{cz}$ = resistencia máxima media de cizalle, en kg/cm²
 sR_{cz} = desviación estándar de la resistencia máxima de cizalle, en kg/cm²

La fatiga básica resultante corresponde a madera verde libre de defectos y sometida a cargas de larga duración.

El valor del módulo de elasticidad básico a la flexión se tomará igual al promedio ($\bar{E}_f$) de los valores resultantes de los ensayos de probetas estándares libres de defectos.

Para elementos individuales, en los cuales es esencial una limitación por deformación, se recomienda el uso del módulo mínimo de elasticidad a la flexión, determinado por:

$$E_{f\text{mín.}} = \bar{E}_f - 2,33 sE_f$$

52.

en que:

- $E_{f\text{mín.}}$ = módulo mínimo de elasticidad a la flexión,
en kg/cm²
- $\bar{E}_f$ = módulo de elasticidad medio a la flexión,
en kg/cm²
- sE_f = desviación estándar del módulo de elasticidad
a la flexión, en kg/cm²

**APLICACION DEL METODO PROPUESTO
A ALGUNAS ESPECIES CHILENAS
A FIN DE DETERMINAR SUS
FATIGAS BASICAS**

Al aplicar el método que se propone a los datos obtenidos en algunas especies autóctonas y aclimatadas, se obtiene el siguiente cuadro:

CUADRO 8. FATIGAS BASICAS DE ALGUNAS ESPECIES CHILENAS

ESPECIE	TENSION BASICA					MOD. ELASTICIDAD	
	Flexión σ_f kg/cm ²	Compr. paralela σ_{cp} kg/cm ²	Compr. normal σ_{cn} kg/cm ²	Tracción paralela σ_{tp} kg/cm ²	Cizalle σ_{cz} kg/cm ²	Medio E_f ton/cm ²	Mínimo E_f mín. ton/cm ²
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
P. insigne	115	60	15	115	15	65,5	34,5
Alamo	125	95	13	125	17	50,5	41,5
Tepa	195 180 *	155 78 *	24 —	195 180 *	20 12 *	79,7 73,6 *	56,0 40,5 *
Olivillo	215 *	115 *	—	215 *	17 *	70,8 *	48,9 *
P. araucaria	225 *	125 *	—	225 *	12 *	82,8	32,3 *
Eucalipto	215	176	44	215	30	122,5	68,0
Tineo	240 *	126 *	—	240 *	17 *	83,7 *	54,0 *
Roble	240 *	146 *	—	240 *	12 *	99,0 *	62,6 *
Coihue	195 240	140 112 *	60 —	195 240 *	30 16 *	83,3 98,7 *	67,0 65,5 *
Ulmo	240 300 *	195 165 *	32 —	240 300 *	28 21 *	104,0 115,4 *	75,5 82,4 *

* Estos valores se determinaron en base a las propiedades mecánicas obtenidas en las probetas especificadas en la norma AFNOR. Se incluyen aquí a manera de información y de comparación con los valores determinados en base a las probetas ASTM.

Aun cuando existen datos promedios de propiedades mecánicas para un mayor número de especies, ellos no se han podido utilizar para la determinación de las fatigas básicas en base al método que se propone, pues la mayoría se da para el estado seco. Muchos de los datos se han obtenido hace unos 30 años atrás aproximadamente, y carecen de un análisis estadístico, el cual no es posible realizarlo en este momento, pues los valores individuales de las propiedades son difíciles de encontrar.

Es necesario iniciar un programa de ensayo, a corto plazo, a fin de obtener las propiedades mecánicas en estado verde de las especies que comúnmente se usan en la construcción, mediante las cuales será posible completar el cuadro de valores que se ha esquematizado anteriormente.

Se recomienda que INDITECNOR normalice un método para la obtención de estas fatigas básicas, el cual podría basarse en el que aquí se propone.

METODO DE CLASIFICACION POR RESISTENCIA PROPUESTO PARA LAS ESPECIES CHILENAS

Generalidades

El propósito de una clasificación por resistencia debe ser el de fomentar el uso eficiente de la madera en el diseño estructural, mediante la asignación a cada elemento de solicitaciones semejantes a sus respectivas resistencias inherentes. De otra forma, el nivel de las tensiones de diseño resultaría anti-económicamente rebajado debido a la presencia de los elementos o piezas de menor resistencia que se pueden presentar en una especie no clasificada.

La agrupación de piezas de madera con características reductoras semejantes, proporciona al calculista la certeza de un material aproximadamente uniforme mediante el cual podrá efectuar un diseño económico y seguro.

Las fatigas admisibles, para un determinado grado, pueden obtenerse mediante el ajuste de datos obtenidos directamente de ensayos de elementos estructurales representativos de especies y grados, o más simplemente, partir del sistema de fatigas básicas y razón de resistencia.

Este último método es el más económico y eficiente cuando están involucrados una gran cantidad de especies y cuando los grados deben ser alterados de tiempo en tiempo, de acuerdo a condiciones de producción y mercado.

El desarrollo de un sistema de clasificación por resistencia, para uso general, se establece en la hipótesis siguiente: *"características reductoras de resistencia similares producen el mismo efecto en las diferentes especies"*.

El método mediante el cual se ha establecido la clasificación que se propone, ha consistido en definir los tamaños de las características reductoras de resistencia, de modo que se obtenga una razón de resistencia mínima de aproximadamente 65, 50 y 40%. Esto no significa que todas las especies se deban clasificar siempre en estos tres grupos. A menudo es suficiente clasificar en uno o dos grupos, dependiendo del uso que va a darse a la madera clasificada.

En las características reductoras de resistencia se han incluido: nudos, velocidad de crecimiento, fisuras, desviación de las fibras, canto muerto, bolsillos de resinas o corteza, manchas, arqueaduras, encurvaduras, torceduras y acanaladura.

En la determinación de las dimensiones de estas características reductoras se deben inspeccionar las 4 caras de la pieza. Además, si la pieza sufre una modificación de sus dimensiones después de ser clasificada, debe procederse a una nueva clasificación.

En el momento de la clasificación por resistencia, el contenido de humedad de la madera no debe ser mayor que 15%, a menos que se estipule otro valor.

Una vez clasificada la pieza, debe procederse a marcarla en un extremo con el grado al cual ha sido asignada, el nombre del productor o barraca y el nombre de la institución que ha establecido la clasificación.

Los tres grados que se proponen podrán, en el futuro, alterarse según sea la aplicabilidad y resultado que se obtenga con ellos en la clasificación de las piezas de las diferentes especies.

Clasificación por resistencia

Dimensiones estándares para los grados clasificados por resistencia

El material clasificado para uso estructural debe usarse con las siguientes dimensiones mínimas, una vez aserrado y seco

CUADRO 9. DIMENSIONES MINIMAS DEL MATERIAL A CLASIFICAR

ESPESOR		ANCHO	
Pulgadas	mm	Pulgadas	mm
1	25	3	76
1 1/2	38	4	102
2	51	5	127
3	76	6	152
4	102	7	178
5	127	8	203
6	152	9	229
		10	254
		12	305
		14	356

Las tolerancias de los tamaños aserrados, para las distintas dimensiones, son:

CUADRO 10. TOLERANCIA DE LAS PIEZAS ASERRADAS

DIMENSION		VARIACIONES MAXIMAS ADMISIBLES			
pulgadas	mm	pulgadas		mm	
1 a 2	25 a 50	- 1/16	+ 1/8	- 1,5	+ 3,0
2 a 6	50 a 152	- 1/8	+ 1/4	- 3,0	+ 6,5
6 a 12	152 a 305	- 1/4	+ 1/4	- 6,5	+ 6,5
12 o más	305 o más	- 1/4	+ 1/2	- 6,5	+ 12,5

Grados definidos

La clasificación consta de tres grados de uso general:

- Grado III - Razón de resistencia: 40^o/o (para construcción estándar)
- Grado II - Razón de resistencia: 50^o/o (construcción selecta)
- Grado I - Razón de resistencia: 65^o/o (estructural)

Grado III, razón de resistencia: 40^o/o (para construcción estándar)

Usos: madera recomendable para uso general en la construcción, particularmente como elemento de apoyo de poca luz, vigas de piso, de cielo, costaneras y, en general, enmaderado de viviendas.

Este grado admite:

Nudos : Véase Apéndice - Tabla 1.

Velocidad de crecimiento: en las especies coníferas: mínimo 2 anillos/cm. En las especies latifoliadas no existe límite.

Fisuras: profundidad máxima aceptable: 3/5 del espesor de la pieza. Largo máximo aceptable: 40 cm de largo, en el sentido de la fibra.

Desviación de las fibras: no más de 1 en 6.

Médula: se acepta en el tercio central de las caras de piezas de 9" o más de ancho.

Arista faltante o canto muerto: no más de 1/4 de cualquier superficie (canto o cara).

Bolsillo de resina o corteza: no se admite con anchos mayores que 3 mm. Para anchos menores de 3 mm, los límites son idénticos a los de las fisuras.

Mancha: mediana

Arqueadura, encorvadura, torcedura y acanaladura: Véase Apéndice -Tablas 2, 3, 4 y 5

Grado II, razón de resistencia: 50^o/o (para construcción selecta)

Usos: este grado se debe usar para los mismos propósitos señalados en el grado anterior pero en los cuales se necesita una mayor luz o una escuadría menor.

Este grado admite:

Nudos: véase Apéndice - Tabla 1.

Velocidad de crecimiento: en las especies coníferas: mínimo 2 anillos/cm. En las especies latifoliadas no existe límite.

Fisuras: profundidad máxima aceptable: 1/2 del espesor de la pieza. Largo máximo aceptable: 25 cm de largo en el sentido de las fibras.

Desviación de las fibras: no más de 1 en 8.

Médula: no se acepta.

Arista faltante o canto muerto: no más de 1/4 de cualquier superficie (canto o cara).

Bolsillo de resina o corteza: no se admiten con anchos mayores que 3 mm; Para anchos menores de 3 mm, los límites son idénticos a los de las fisuras.

Mancha: no se admite.

Arqueadura, encorvadura, torcedura y acanaladura: véase Apéndice - Tablas 2, 3, 4 y 5

Grado I, razón de resistencia: 650/o (estructural)

Usos: la madera perteneciente a este grado es de excelente resistencia y apariencia. Se recomienda para uso exterior e interior donde se necesita, además de una gran resistencia, una buena presentación. Encuentra amplio uso en cerchas, marcos y otros diseños estructurales en los cuales se necesita un cálculo detallado.

Este grado admite:

Nudos: véase Apéndice - Tabla 1.

Velocidad de crecimiento: en las especies coníferas: mínimo 3 anillos/cm. En las especies latifoliadas no existe límite.

Fisuras: profundidad máxima aceptable: 1/3 del espesor de la pieza. Largo máximo aceptable: 10 cm de largo en el sentido de las fibras.

Desviación de las fibras: no más de 1 en 11.

Médula: no se acepta.

Arista faltante o canto muerto: no más de $1/8$ de cualquier superficie (canto y cara).

Bolsillo de resina o corteza: no se admiten con anchos mayores que 3 mm. Para anchos menores que 3 mm, los límites son idénticos a los definidos para las fisuras.

Mancha: no se admite.

Arqueadura, encorvadura, torcedura y acanaladura: no se aceptan.

FATIGAS DE DISEÑO PARA LAS MADERAS NACIONALES

La fatiga de diseño es la tensión unitaria que puede soportar un elemento estructural sometido a un determinado esfuerzo, bajo condiciones específicas de carga y servicio. Esta fatiga de diseño se obtiene multiplicando las fatigas admisibles por los factores de modificación.

Se recomienda el uso de los valores indicados en este capítulo para los diferentes factores de modificación que se obtienen del análisis de las variables y condiciones de servicio que pueden presentarse en una estructura de madera.

A continuación se incluye un ejemplo a fin de dar el método de uso de estos factores de modificación.

EJEMPLO : Calcular la carga de diseño de un pilar de 2" x 4" de pino insigna, grado I. Se acepta que los extremos del pilar sean rotulados fijos con una longitud de 1,8 m.

Dimensiones del pilar :
 $a = 2'' = 5 \text{ cm}$ (espesor)
 $b = 4'' = 10 \text{ cm}$ (ancho)
 $\text{Area} = A = 5 \times 10 = 50 \text{ cm}^2$



60.

Momento de inercia mínimo:

$$I_{\text{mín.}} = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{10 \times 125}{12} = 104,0 \text{ cm}^4$$

Radio de giro mínimo:

$$r = \sqrt{\frac{I_{\text{mín.}}}{A}} = \sqrt{\frac{104}{50}} = \sqrt{2,08} = 1,44 \text{ cm}$$

Esbeltez:

$$\frac{l_p}{r_{\text{mín.}}} = \frac{180}{1,44} = 124$$

Factor de modificación para esta esbeltez:

$$0,24 \text{ (véase anteriormente Cuadro 6)}$$

Fatiga admisible para pino insigne, grado I, en compresión paralela:

$$\sigma_{\text{adm.}} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

Fatiga de diseño, considerando pandeo:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{diseño}} &= 0,24 \times 40 = 9,6 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{carga de diseño} &= 9,6 \times 50 = 480 \text{ kg} \end{aligned}$$

Si se considera una carga del tipo:

$$\text{carga muerta} + \text{sobrecarga} + \text{carga de viento}$$

se debe usar un nuevo factor de modificación, en este caso, por duración de la carga (véase Cuadro 7), que para:

$$\text{esbeltez} = 124 \text{ es } 1,05$$

luego, carga de diseño final:

$$P_{\text{diseño}} = 480 \times 1,05 = 502 \text{ kg}$$

- B
I
B
L
I
O
G
R
A
F
I
A
1. ALBALA, Hiram. **Propiedades mecánicas y asociadas del álamo.** *Revista del IDIEM*. Santiago, Chile. 6(2):157-167. 1967.
 2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Tentative methods for establishing structural grades for visually graded lumber.** ASTM D 245-68T. Reprint. Philadelphia, Pa., 1968. 41 p.
 3. BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Structural timber. Measurement of characteristics affecting strength.** BS 1860. Part 1. Softwood. London, 1959. 18 p.
 4. CARREÑO, Froilán. **Estudios sobre maderas nacionales, secamiento y preservación.** Santiago, Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Civil, 1940. 168 p. Tesis.
 5. DEUTSCHER NORMENAUSSCHUSS. **Construcciones de madera. Cálculo y ejecución.** DIN 1052. Bilbao, España, Balzola, 1959. 29 p.
 6. DONOSO, J. y NAVARRETE, R. **Determinación de las propiedades mecánicas de algunas maderas de importancia comercial.** Santiago, Chile, Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal, 1969. Tesis.
 7. HANSEN, Howard J. **Diseño moderno de estructuras de madera.** Manuel de la Colina trad. México, D.F., CECSA, 1961. 349 p.
 8. INDITECNOR. **Clasificación por aspecto de la madera aserrada de pino insignie.** (Norma de emergencia), Santiago, Chile, 1967. 6 p.
 9. ———. **Maderas. Terminología general.** NCH 173. cR69. (Norma en consulta pública) Santiago, Chile, 1967. 15 p.
 10. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSAYO DE MATERIALES. **Tabla de propiedades mecánicas.** Santiago, Chile, 1969. 1 p.

11. JORQUERA, L. y BONHOMME, F. **La norma japonesa para estructuras de madera.** Santiago, Chile, Centro de la Vivienda y Construcción, 1964. 65 p. (Informe N° 17).
12. MARKWARDT, L.J. and WOOD, L.W. **Simplified principles for structural grading of timber.** Madison, Wis., Forest Products Laboratory, 1958. 20 p. (Bulletin 2112).
13. NEWLIN, J.A. **Bearing strength of wood at angle to the grain.** Madison, Wis., Forest Products Laboratory, 1965. 3 p. (Report 1203).
14. PEREZ, A., ARAYA, R. y MARCHANT, R. **Evaluación aproximada de las tensiones básicas y admisibles de maderas nacionales.** Revista del IDIEM. Santiago, Chile. 5(3):183-197. 1966
15. RADIATA PINE ASSOCIATION OF AUSTRALIA. **RPAA grading rules.** Adelaida, 1970. 56 p.
16. REECE, Phillip. **An introduction to the design of timber structures.** London, E. F. N. Spon Ltd., 1949. 235 p.
17. REID, J. S. **Notes on the structural grading and use of timbers.** Wellington, New Zealand Forest Service, 1964. 31 p.
18. ROJAS, C. **Vigas de madera laminada constituidas por dos especies.** Santiago, Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Civil, 1968. 97 p. Tesis.
19. SUNLEY, J. C. **Grade stresses for structural timbers.** London, Ministry of Technology. Forest Products Research, 1968. 18 p. (Bulletin 47)
20. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. FOREST SERVICE. **How lumber is graded.** Washington, D. C., 1957. 17 p.
21. WOOD, Lyman W. **Factor of safety in design of timber structures.** New York, American Society of Civil Engineers, 1958. 20 p.

APENDICE

DEFINICIONES, METODOS DE MEDICION Y TABLAS DE LOS DEFECTOS



DEFINICIONES Y NOMENCLATURA DE LOS DEFECTOS

Es esencial que los términos usados queden totalmente claros a fin de que la aplicación de las normas de clasificación se lleve a efecto en forma correcta.

Los siguientes son los términos que más comúnmente se presentan en una clasificación de madera:

Acanaladura	(Abarquillado). Alabeo en la dirección transversal a las fibras.
Agujeros	Anomalía que se manifiesta como abertura de sección aproximadamente circular, originada por el desprendimiento de un nudo. El efecto que los agujeros tienen es el mismo, cualquiera haya sido el origen de ellos.
Alabeo	(Deformación). Deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.
Ancho	Dimensión mayor de la sección transversal de una pieza.
Arista	Línea recta de intersección de las superficies que forman dos lados adyacentes.

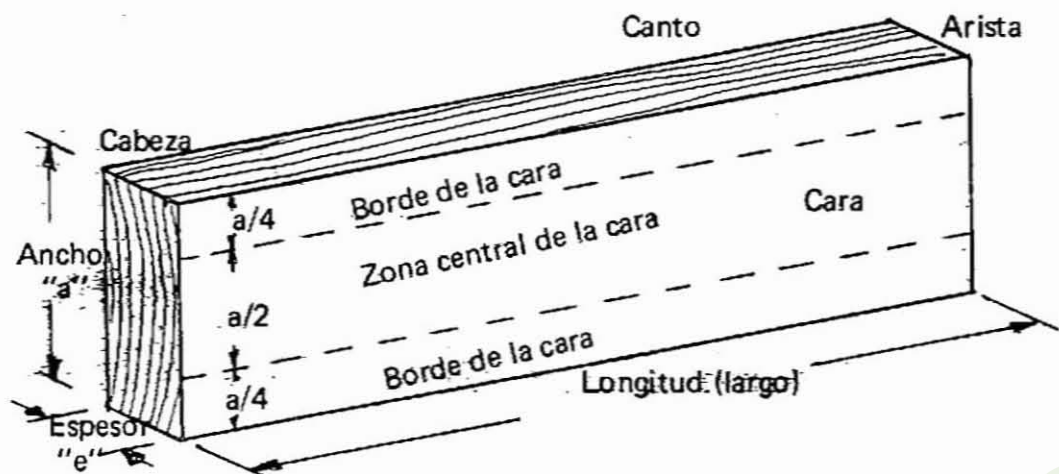


Fig. 5. Elementos de una pieza

Arista faltante	(Canto muerto). Falta de madera en una o más aristas de una pieza.
Arqueadura	(Combado). Alabeo de las caras en la dirección longitudinal a las fibras.
Bolsillo de corteza	Presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en la madera.
Bolsillo de resina	(Bolsa o lacre). Anomalía que se manifiesta por la presencia de una cavidad bien delimitada y que contiene resina, goma resina o tanino.
Cabeza	Sección transversal de cada extremo de una pieza.
Canto	Superficie plana normal a las caras, paralelas entre sí y al eje longitudinal de una pieza.
Cara	Superficie plana de mayor dimensión de una pieza, paralelas entre sí y al eje longitudinal de ella.
Defecto (característica reductora)	Cualquier irregularidad que se presenta en la superficie o en el interior de la madera disminuyendo su resistencia, durabilidad, desmerece su aspecto y limita el campo de sus aplicaciones.
Clase (grado) de madera	Grupo de piezas, de una o más especies, ligeramente diferentes entre sí en su aspecto o resistencia, pero con ciertas características comunes en cuanto a la intensidad de sus defectos.
Inclinación de la fibra	(Inclinación del grano). Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de un árbol o con respecto al canto de una pieza.
Encorvadura	Alabeo de los cantos en sentido longitudinal a las fibras.
Escuadría	Expresión numérica de las dimensiones de la sección transversal de una pieza.
Espesor	Dimensión menor de la sección transversal de una pieza.
Fibra (grano, hebra)	Elementos constitutivos de la madera (células) de forma alargada y generalmente dispuestos en la misma dirección del eje longitudinal del árbol.

Fisuras	Cualquier tipo de separación de fibras en un plano longitudinal, incluye grietas y rajaduras.
Grietas	Separación de la fibra de la madera que no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada.
Longitud	(Largo). Distancia entre las cabezas de una pieza.
Mancha	Coloración anormal de la madera, principalmente de la albura, producida por hongos y que no alteran su estructura leñosa.
Médula	Parte central del tronco, constituida especialmente por tejido parenquimatoso o blando.
Nudo	Area de tejido leñoso resultante del desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades mecánicas son diferentes a la madera circundante.
Rajadura	Separación de la fibra de la madera que se extiende en la dirección del eje de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma.
Torcedura	Alabeo helicoidal en la dirección longitudinal y transversal de las fibras.
Trascara	En la clasificación por aspecto, se denomina así a la cara opuesta a la que sirvió para clasificar la pieza.
Velocidad de crecimiento	Número de anillos de crecimiento por unidad de longitud, medida según el radio del árbol.



METODO DE MEDICION DE LOS DEFECTOS

Los métodos que se recomiendan para evaluar las características reductoras o defectos medrables, son los siguientes:

Nudos (Posición y medidas)

Los tamaños de los nudos y agujeros deben medirse con una precisión de 1 mm. Se admiten 2 o más nudos de dimensión máxima en una pieza, si la distancia entre ellos, en el sentido del largo, es mayor a 2 veces el ancho de la pieza.

Nudo en arista: nudo que aparece tanto en el canto como en la cara de una pieza y que contiene una arista de ella. El tamaño de un nudo de arista debe considerarse compuesto por el tamaño de la parte de él que queda en el canto (X) y la correspondiente a la cara de la pieza (Y). (Véase figura 6).

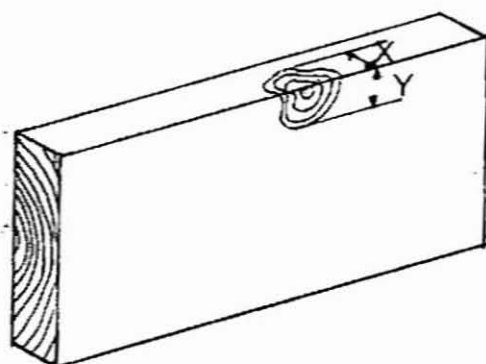


Fig. 6. Nudo en arista

Las dimensiones de cada una de ellas se determinan como la distancia que existe entre la arista y una línea paralela a ésta, tangente al nudo. Cualquiera de estos tamaños (X e Y) pueden definir la clasificación de la pieza, de acuerdo a los valores que se indican en la Tabla 1.

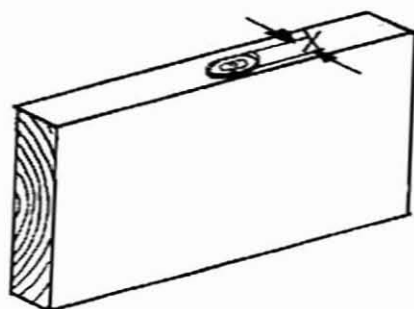


Fig. 7. Nudo en el canto

Nudo en el canto: nudo comprendido totalmente entre las aristas del canto de una pieza y que no aparecen en las caras de la pieza.

El tamaño (X) de un nudo ubicado en el canto debe tomarse como la distancia entre líneas paralelas a la arista y tangentes

al nudo, de modo que entre ellas quede contenido el nudo (véase figura 7).

Nudo en una cara: nudo ubicado totalmente en la zona central de la cara. El tamaño de un nudo ubicado en la zona central de la cara debe tomarse como promedio del mayor y menor diámetro de él (véase figura 8).

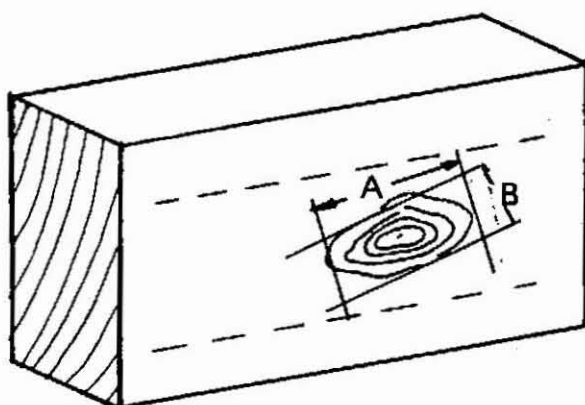


Fig. 8. Nudo en una cara

Ejemplo:

$$\varnothing_m = \frac{A + B}{2}$$

Nudo en el borde de una cara: nudo ubicado en una cara fuera de la zona central de ella, puede estar cerca o ser cortado por la arista (véase figura 9).

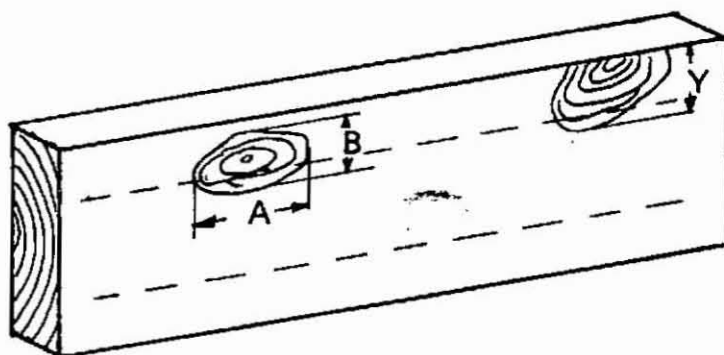


Fig. 9. Nudo en el borde de una cara

En el caso que estos nudos queden cortados por una arista, su tamaño debe tomarse como el ancho que existe entre la arista y una línea paralela a ella, tangente al nudo (Y). En cualquier otro caso, debe medirse de la misma manera que los nudos ubicados en la zona central de la cara.

El tamaño de los nudos que aparecen, una parte en el borde de la cara y otra en la zona central de ella, se restringirá mediante el tamaño correspondiente a nudos ubicados en los bordes de la cara.

Grupo de nudos: dos o más nudos individuales, cada uno de los cuales es una unidad separada que queda totalmente rodeada por las fibras de la madera (véase figura 10).

El grupo se limita a aquellos nudos que aparecen en una longitud equivalente al ancho de la pieza. Cada nudo del grupo debe medirse según lo indicado en la figura 8, y la medida para el grupo (ϕG) debe expresarse como la suma de los tamaños individuales (ϕi) de los distintos nudos.

$$\phi i = (A + B) / 2$$

$$\phi G = \sum \phi i$$

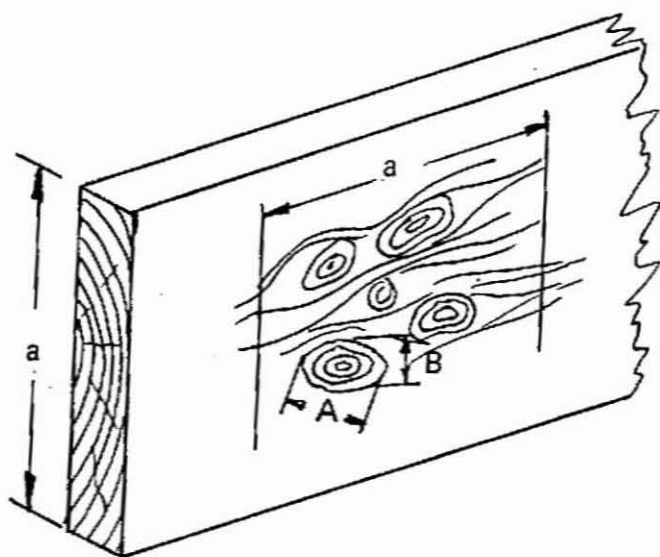


Fig. 10. Grupo de nudos

La limitación para el grupo de nudos depende de la ubicación de él y se hará con los valores máximos admisibles especificados para los nudos individuales.

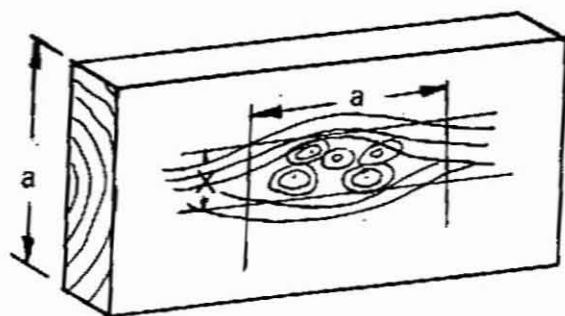


Fig. 11. Nido de nudos

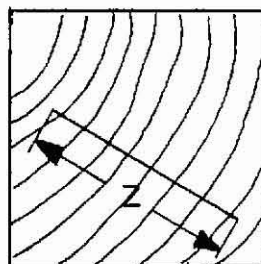
Nido de nudos: dos o más nudos agrupados como una unidad que queda totalmente rodeada por las fibras de la madera.

El tamaño (X) de un nido de nudos se expresa por la distancia que existe entre 2 líneas paralelas a las aristas y que encierran aquellos nudos que existen en una longitud equivalente al ancho de la pieza (véase figura 11).

Los agujeros originados por nudos sueltos o por otro motivo, se deben medir en la misma forma que los nudos.

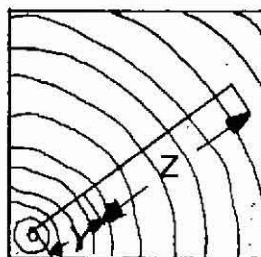
Velocidad de crecimiento

La velocidad de crecimiento debe medirse en las 2 cabezas del elemento y debe tomarse como el valor promedio de anillos de crecimiento por cm, que se obtienen en una línea de 8 cm de largo, perpendicular a los anillos de crecimiento; que pase por el centro de la cabeza del elemento, o que se inicie a 3 cm de la médula cuando ella esté presente en el elemento (véase figura 12 a).



$Z = 8 \text{ cm}$

Fig. 12 a



$Y = 3 \text{ cm}$

$Z = 8 \text{ cm}$

Fig. 12 b

Fig. 12. Velocidad de crecimiento

Fisuras. Grietas y rajaduras

La profundidad de las fisuras que se presentan en la superficie del elemento deben medirse mediante un calibrador que no exceda de 0,15 mm de espesor. Para evaluar la magnitud del defecto, debe considerarse la máxima profundidad de fisura que se presente en cualquier sección transversal.

Inclinación de las fibras

La inclinación de las fibras debe medirse sobre una distancia lo suficientemente grande como para determinar la desviación general, despreciando leves desviaciones locales. Dos métodos se pueden usar para medir este defecto: una línea paralela a las rajaduras superficiales y mediante el uso del detector de fibra.

La medición debe efectuarse en la zona donde la pieza muestre la mayor inclinación de las fibras y se expresa mediante la razón BC/AC (véase figura 13).

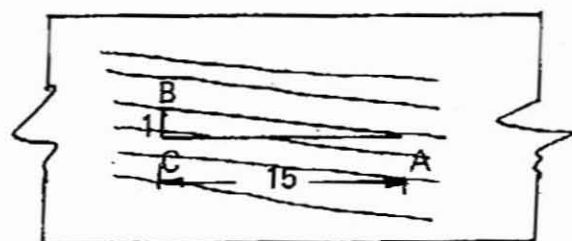


Fig. 13. Inclinación de las fibras

AB es la línea que indica la dirección de las fibras; AC es la línea paralela al canto del elemento y BC es una unidad de longitud cualquiera, que es perpendicular a AC.

La desviación de la fibra se expresa como uno en X; en que X es la longitud AC medida en términos de BC. Este defecto debe determinarse en 2 caras adyacentes, y de los valores obtenidos se puede determinar la verdadera inclinación de las fibras respecto del eje longitudinal del elemento.

Arista faltante (canto muerto)

La cantidad de arista faltante (canto muerto) de cualquier superficie debe tomarse como la suma de arista faltante que se presenta en las dos aristas y debe expresarse como una fracción del ancho de la superficie en la cual aparece (véase figura 14).

La cantidad de canto muerto en la cara vertical del elemento será:

$$\frac{V_1}{d} \text{ o } \frac{V_2 + V_3}{d}$$

La cantidad de canto muerto en la cara horizontal del elemento será:

$$\frac{K_1}{b} \text{ o } \frac{K_2 + K_3}{b}$$

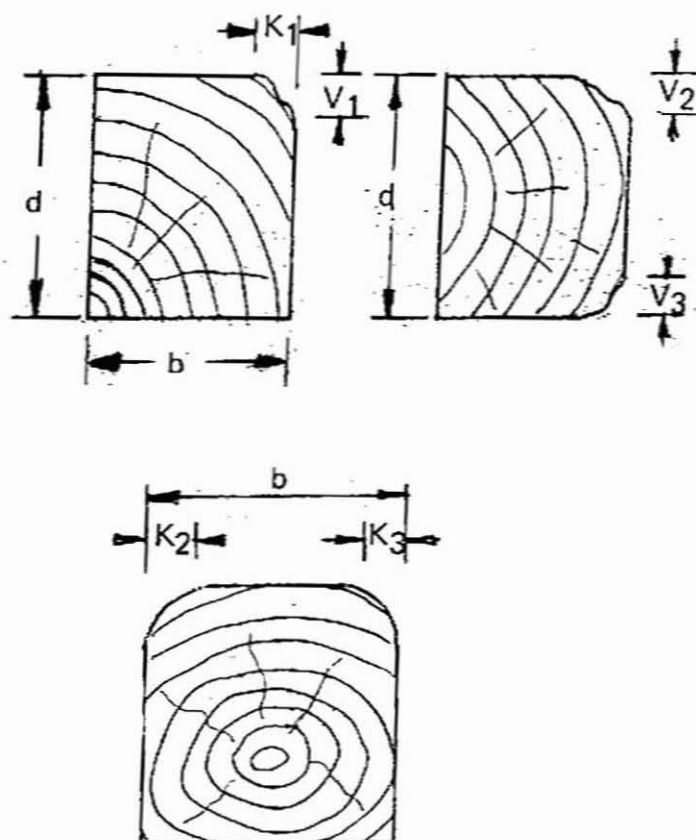


Fig. 14. Canto muerto

Bolsillos de resina o de corteza

A las aberturas entre los anillos de crecimiento que contienen resina o corteza, se les debe medir el ancho, largo y profundidad en la superficie en la cual aparecen.

Arqueadura

Es la desviación de la cara, de una línea recta trazada por las cabezas de una pieza. Su magnitud d se mide en el punto de mayor distancia a dicha línea (véase figura 15).

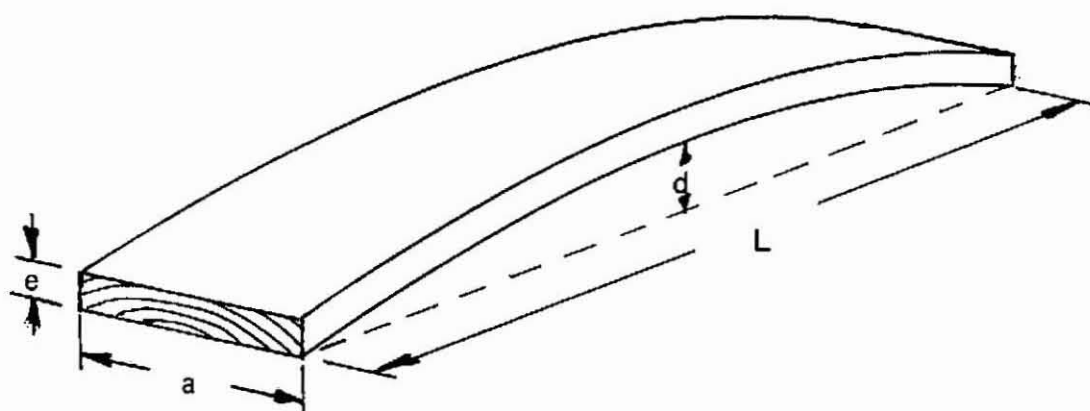


Fig. 15. Arqueadura

Encorvadura

Es la desviación del canto de una línea recta trazada por las cabezas de una pieza. Su magnitud f se mide en el punto de mayor distancia a dicha línea (véase figura 16).

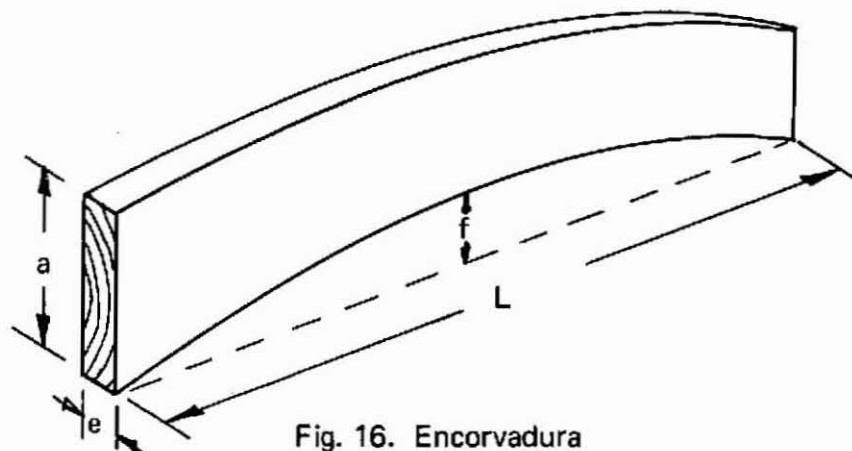


Fig. 16. Encorvadura

74.

Torcedura

Es el alabeo helicoidal en la dirección longitudinal de las fibras. Su magnitud t se mide por la distancia de una esquina de la pieza a una superficie plana sobre la cual están apoyadas las otras tres esquinas (véase figura 17).

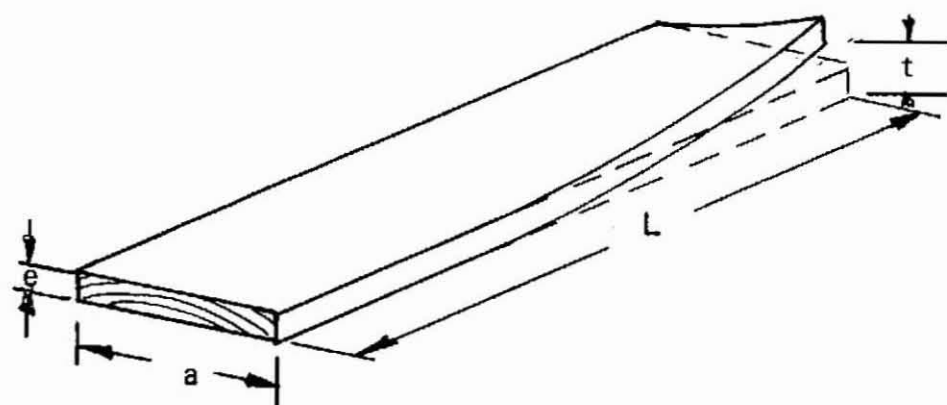


Fig. 17. Torcedura

Acanaladura

Es la desviación de la cara de una línea trazada por un extremo de ella. Su magnitud s se mide en el punto de mayor distancia a dicha línea (véase figura 18).

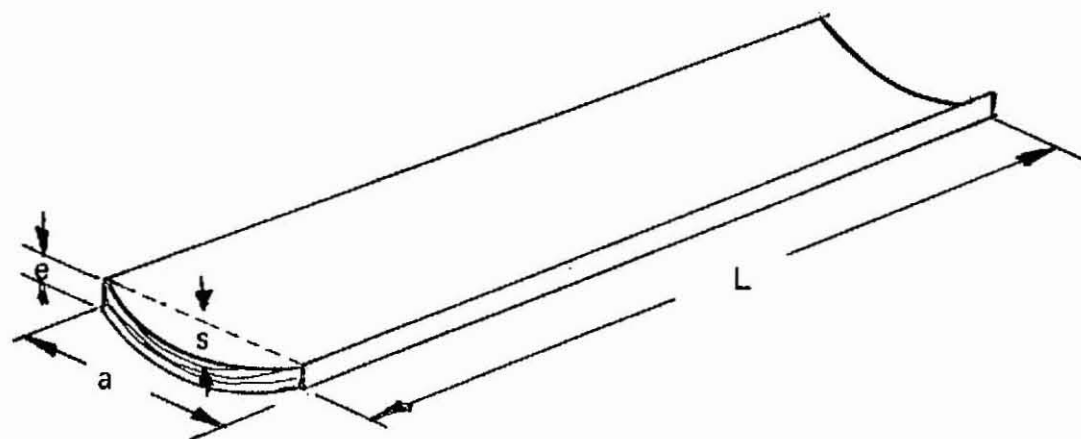


Fig. 18. Acanaladura

TABLA 1. DIMENSIONES MAXIMAS DE NUDOS ADMISIBLES

Ancho Nominal de la cara		GRADO I Razón de resistencia: 650/o			GRADO II Razón de resistencia: 500/o			GRADO III Razón de resistencia: 400/o		
		Nudos ubicados en los cantos	Nudos ubicados en zona central de la cara o en cualquier super- ficie comprimida	Nudos ubicados en los bordes de las caras o en cualquier super- ficie traccionada	Nudos ubicados en los cantos	Nudos ubicados en zona central de la cara o en cualquier super- ficie comprimida	Nudos ubicados en los bordes de las caras o en cualquier super- ficie traccionada	Nudos ubicados en los cantos	Nudos ubicados en zona central de la cara o en cualquier super- ficie comprimida	Nudos ubicados en los bordes de las caras o en cualquier super- ficie traccionada
mm	pulg.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
25	1	10	10	3	13	13	6	16	16	10
38	1 1/2	13	13	6	19	16	10	22	19	13
51	2	19	19	10	25	22	13	32	25	16
64	2 1/2	22	22	13	32	29	19	38	32	22
76	3	29	25	16	38	32	22	44	38	25
102	4	38	35	19	51	44	29	57	51	32
127	5	48	44	25	64	57	38	70	64	41
152	6	57	51	29	76	67	44	83	76	48
203	8	67	67	38	89	86	60	95	95	64
254	10	76	79	51	98	102	76	102	108	79
305	12	79	92	60	108	114	89	111	121	92

La distancia entre los nudos de dimensión máxima debe ser mayor o igual a 2 veces el ancho de la pieza. Para vigas simplemente apoyadas y sometidas a flexión, las dimensiones pueden aumentarse en nudos ubicados en los tercios extremos de la luz. Este incremento puede aumentar proporcionalmente hacia los apoyos hasta un 250/o de los valores que aquí se dan.

TABLA 2. VALORES ADMISIBLES PARA d ,
EN LA ARQUEADURA (BOW)

ESPESOR "e"		L A R G O " L "		
		244 cm 8'	366 cm 12'	487 cm 16'
Valor	Unidad	Valores de d en mm		
25 1	mm pulg.	33	76	135
38 1 1/2	mm pulg.	22	51	90
51 2	mm pulg.	17	38	68
64 2 1/2	mm pulg.	14	30	57
76 3	mm pulg.	11	25	44
102 4	mm pulg.	8	19	33

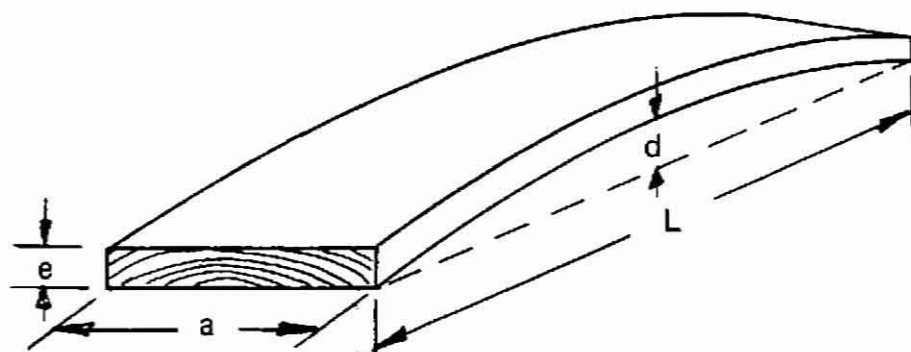


TABLA 3. VALORES ADMISIBLES PARA f ,
EN LA ENCORVADURA (SPRING)

ANCHO "a"		LARGO "L"		
		244 cm 8'	366 cm 12'	487 cm 16'
Valor	Unidad	Valores de f en mm		
76 3	mm pulg.	11	25	44
102 4	mm pulg.	9	19	33
127 5	mm pulg.	6	16	25
152 6	mm pulg.	6	13	22
178 7	mm pulg.	5	11	19
203 8	mm pulg.	5	9	17
254 10	mm pulg.	3	8	14
305 12	mm pulg.	3	6	11

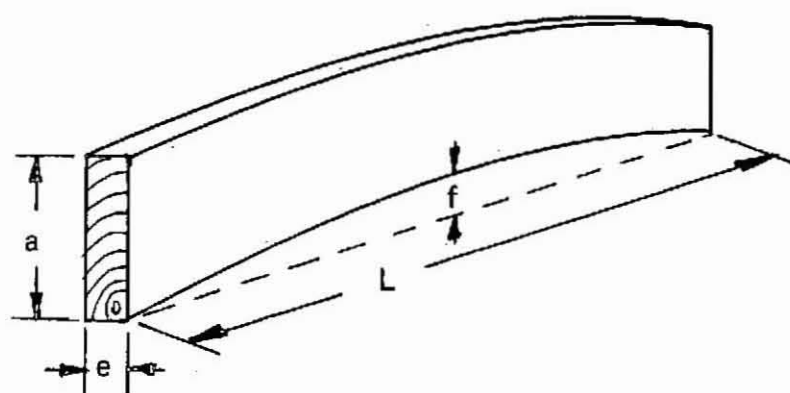


TABLA 4. VALORES ADMISIBLES PARA t ,
EN LA TORCEDURA (TWIST)

Longitud "L"	Espesor "e"	A N C H O " a "							
		76mm 3"	102mm 4"	127mm 5"	152mm 6"	178mm 7"	203mm 8"	254mm 10"	305mm 12"
		Valores de t , en mm							
244 cm (8')	25 mm 1"	9	13	16	19	22	25	32	38
	38 mm 1 1/2"	6	8	11	13	14	16	21	25
	51 mm 2"	5	6	8	9	11	13	16	19
	64 mm 2 1/2"	3	5	6	8	8	9	13	14
	76 mm 3"	3	5	5	6	8	8	11	13
366 cm (12')	25 mm 1"	14	19	24	28	33	38	47	57
	38 mm 1 1/2"	8	11	13	16	19	21	27	32
	51 mm 2"	6	8	10	11	14	16	19	24
	64 mm 2 1/2"	5	6	8	10	11	13	16	19
	76 mm 3"	3	5	6	8	10	11	13	16
487 cm (16')	25 mm 1"	19	25	32	38	44	51	64	76
	38 mm 1 1/2"	13	16	21	25	28	30	41	51
	51 mm 2"	10	13	16	19	22	25	32	38
	64 mm 2 1/2"	8	10	13	14	17	21	25	30
	76 mm 3"	6	8	11	13	14	17	21	25

(véase figura a la vuelta)

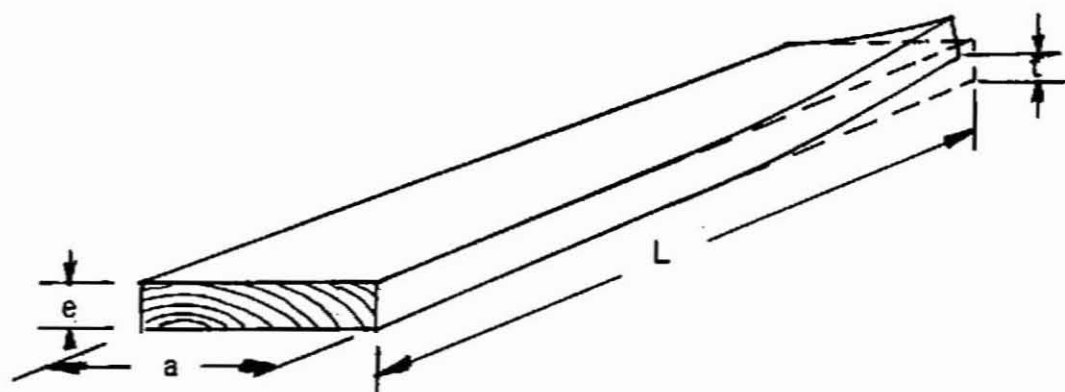


Figura Tabla 4. Torcedura

TABLA 5. VALORES ADMISIBLES PARA s ,
EN LA ACANALADURA (CUP)

ANCHO "a"	VALORES DE s mm
76 mm 3"	3,0
102 mm 4"	4,0
127 mm 5"	5,0
152 mm 6"	6,0
178 mm 7"	7,0
203 mm 8"	8,0
254 mm 10"	10,0
305 mm 12"	12,0

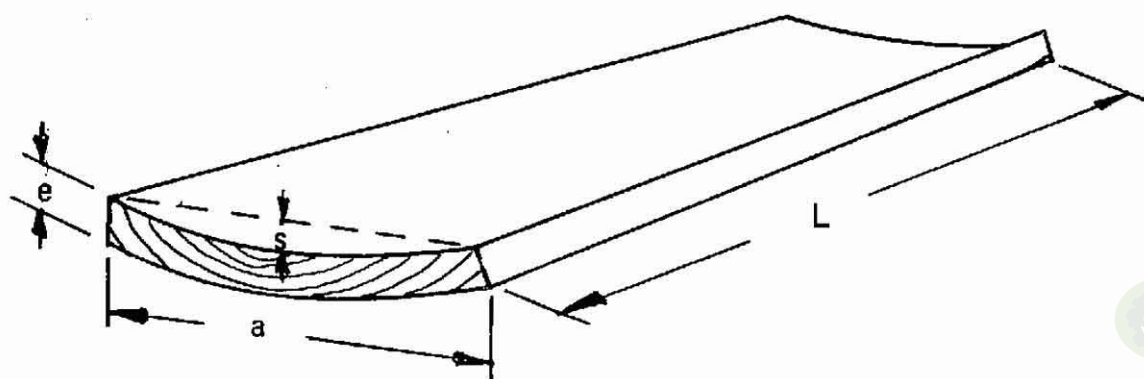


TABLA 6. FATIGAS ADMISIBLES DE ALGUNAS
ESPECIES CHILENAS

ESPECIE	ESFUERZO		TENSION ADMISIBLE		
	Nombre	Unidad	Grado I RR=65°/o	Grado II RR=50°/o	Grado III RR=40°/o
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Pino insigne	Flexión	kg/cm ²	75	58	46
	Compresión paralela	kg/cm ²	40	30	24
	Compresión normal	kg/cm ²	13	11	10
	Tracción paralela	kg/cm ²	75	58	46
	Cizalle	kg/cm ²	10	8	6
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	65,5	65,5	65,5
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	34,5	34,5	34,5
Alamo	Flexión	kg/cm ²	80	62	50
	Compresión paralela	kg/cm ²	62	48	38
	Compresión normal	kg/cm ²	11	10	9
	Tracción paralela	kg/cm ²	80	62	50
	Cizalle	kg/cm ²	11	8	7
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	50,5	50,5	50,5
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	41,5	41,5	41,5
Tepa	Flexión	kg/cm ²	127	98	78
	Compresión paralela	kg/cm ²	100	78	62
	Compresión normal	kg/cm ²	21	18	17
	Tracción paralela	kg/cm ²	127	98	78
	Cizalle	kg/cm ²	13	10	8
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	79,7	79,7	79,7
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	56,0	56,0	56,0
Olivillo*	Flexión	kg/cm ²	140	108	86
	Compresión paralela	kg/cm ²	75	58	46
	Compresión normal	kg/cm ²	---	---	---
	Tracción paralela	kg/cm ²	140	108	86
	Cizalle	kg/cm ²	11	8	7
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	70,8	70,8	70,8
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	48,9	48,9	48,6

(continúa)

ESPECIE	ESFUERZO		TENSION ADMISIBLE		
	Nombre	Unidad	Grado I RR=65°/o	Grado II RR=50°/o	Grado III RR=40°/o
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Pino araucaria*	Flexión	kg/cm ²	146	112	90
	Compresión paralela	kg/cm ²	80	62	50
	Compresión normal	kg/cm ²	---	---	---
	Tracción paralela	kg/cm ²	146	112	90
	Cizalle	kg/cm ²	8	6	5
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	82,8	82,8	82,8
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	32,3	32,3	32,3
Eucalipto	Flexión	kg/cm ²	140	108	86
	Compresión paralela	kg/cm ²	114	88	70
	Compresión normal	kg/cm ²	38	33	30
	Tracción paralela	kg/cm ²	140	108	86
	Cizalle	kg/cm ²	20	15	12
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	122,5	122,5	122,5
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	68,0	68,0	68,0
Tineo *	Flexión	kg/cm ²	156	120	96
	Compresión paralela	kg/cm ²	82	63	50
	Compresión normal	kg/cm ²	---	---	---
	Tracción paralela	kg/cm ²	156	120	96
	Cizalle	kg/cm ²	11	8	7
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	83,7	83,7	83,7
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	54,0	54,0	54,0
Roble *	Flexión	kg/cm ²	156	120	96
	Compresión paralela	kg/cm ²	95	73	58
	Compresión normal	kg/cm ²	---	---	---
	Tracción paralela	kg/cm ²	156	120	96
	Cizalle	kg/cm ²	8	6	5
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	99,0	99,0	99,0
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	62,6	62,6	62,6
Coihue	Flexión	kg/cm ²	127	98	78
	Compresión paralela	kg/cm ²	91	70	56
	Compresión normal	kg/cm ²	52	45	42
	Tracción paralela	kg/cm ²	127	98	78
	Cizalle	kg/cm ²	20	15	12
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	83,3	83,3	83,3
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	67,0	67,0	67,0

ESPECIE	ESFUERZO		TENSION ADMISIBLE		
	Nombre	Unidad	Grado I RR=65 ^o /o	Grado II RR=50 ^o /o	Grado III RR=40 ^o /o
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ulmo	Flexión	kg/cm ²	156	120	96
	Compresión paralela	kg/cm ²	127	98	78
	Compresión normal	kg/cm ²	28	24	22
	Tracción paralela	kg/cm ²	156	120	96
	Cizalle	kg/cm ²	18	14	11
	Mód.elastic. medio	ton/cm ²	104,0	104,0	104,0
	Mód.elastic. mínimo	ton/cm ²	75,5	75,5	75,5

* Valores basados en propiedades mecánicas determinadas en probetas estándares especificadas en la norma AFNOR (2 x 2 cm). En el caso de aquellas especies que tienen valores de tensiones básicas determinadas tanto en base a normas ASTM como a normas AFNOR, se usó el valor calculado con las propiedades mecánicas según norma ASTM.

Para cada especie conviene efectuar un muestreo en barraca a fin de visualizar qué porcentaje de material queda en cada grado y con ello ver la aplicabilidad que esta clasificación tiene. Lo anterior es útil, además, para ver la posible necesidad de crear otro grupo o clase o para elevar o disminuir las razones de resistencias (RR) asignadas a estos tres grados.

Impreso en los talleres del Instituto Forestal
Valenzuela Llanos 260 - Casilla 3085
Santiago, Chile - 2.000 ejemplares
Diagramación y comp. de texto:
Myrna Cobián Serka
julio de 1971

Pérez G., Vicente Antonio

Fatigas de diseño para maderas estructurales chilenas. Santiago, Chile, Instituto Forestal, 1971.

83 p. illus. (Informe Técnico 37).

Se exponen los métodos utilizados en otros países para la evaluación de fatigas básicas, sobre la base de resultados obtenidos en ensayos estandarizados en probetas libres de defectos.

Se presentan las reglas que deben seguirse en una clasificación por resistencia y se proponen métodos para:

1. Establecer las fatigas básicas de especies madereras chilenas.
2. Efectuar la clasificación por resistencia de las maderas nacionales en tres grados definidos para diferentes usos.
3. Medir los defectos de la madera que influyen sobre su resistencia.

El trabajo finaliza con la aplicación de los métodos propuestos a algunas maderas chilenas ensayadas.

Pérez G., Vicente Antonio

Fatigas de diseño para maderas estructurales chilenas. Santiago, Chile, Instituto Forestal, 1971.

83 p. illus. (Informe Técnico 37).

Se exponen los métodos utilizados en otros países para la evaluación de fatigas básicas, sobre la base de resultados obtenidos en ensayos estandarizados en probetas libres de defectos.

Se presentan las reglas que deben seguirse en una clasificación por resistencia y se proponen métodos para:

1. Establecer las fatigas básicas de especies madereras chilenas.
2. Efectuar la clasificación por resistencia de las maderas nacionales en tres grados definidos para diferentes usos.
3. Medir los defectos de la madera que influyen sobre su resistencia.

El trabajo finaliza con la aplicación de los métodos propuestos a algunas maderas chilenas ensayadas.

Pérez G., Vicente Antonio

Design stresses for Chilean structural timber. Santiago, Chile, Instituto Forestal, 1971.

83 p. illus. (Technical Report 37).

The methods employed in other countries in the evaluation of the basic stress values, taking as a base the results obtained in the test of small clear specimens are presented, together with the rules to be followed in a strength classification.

Methods are presented for:

1. The establishment of the basic-stress values for Chilean timber species.
2. The development of a strength classification of the national woods in three defined grades for different uses.
3. The measurement of the strength reducing characteristics in the wood.

The results of some Chilean woods previously essayed are presented in relation with the proposed methods.

Pérez G., Vicente Antonio

Design stresses for Chilean structural timber. Santiago, Chile, Instituto Forestal, 1971.

83 p. illus. (Technical Report 37).

The methods employed in other countries in the evaluation of the basic stress values, taking as a base the results obtained in the test of small clear specimens are presented, together with the rules to be followed in a strength classification.

Methods are presented for:

1. The establishment of the basic-stress values for Chilean timber species.
2. The development of a strength classification of the national woods in three defined grades for different uses.
3. The measurement of the strength reducing characteristics in the wood.

The results of some Chilean woods previously essayed are presented in relation with the proposed methods.

