

# Esfuerzos característicos y de diseño en piezas estructurales de madera. Resistencias de diseño de maderas de la Patagonia

Ing. Jorge Lomagno  
Área de Tecnología de la Madera - CIEFAP

## 1. Introducción

La madera de cualquier especie forestal, aun las de menor densidad, puede ser usada en elementos estructurales, si se dispone de valores de resistencia de diseño a los esfuerzos que le son requeridos.

La resistencia de diseño de una pieza de madera a una solicitación, es un valor de esfuerzo estimado que la misma podrá resistir sin sufrir ningún tipo de alteración permanente, aún cuando deba soportar este esfuerzo bajo las condiciones de duración de carga y humedad establecidas en el diseño. Hay distintas formas de realizar su determinación, lo cual da lugar a diferentes metodologías de diseño en madera.

En esta Ficha se explican diferentes coeficientes y ajustes con que se obtienen las resistencias de diseño, a partir de valores de ensayos de laboratorio y los coeficientes de ajuste utilizados con la normativa Europea (EC-5).

## 2. Resistencia y Rigidez. Valores de Ensayo y de Diseño.

El dimensionado mecánico es el resultado de la adopción de modelos de diseño y la asunción de valores hipotéticos de cargas y resistencias de los materiales, bajo determinados requerimientos de seguridad y funcionalidad.

Las características que más afectan las propiedades mecánicas de la madera son: nudos, inclinación de las fibras, grietas, rajaduras, densidad y pudriciones (en todas sus formas).

Se definen como valores de ensayo de un tipo de madera a los obtenidos en una evaluación de laboratorio de muestras representativas de la especie considerada. Las resistencias de diseño son valo-

res estimados de esfuerzo que las piezas pueden soportar sin ningún tipo de falla, aún bajo las condiciones de uso real.

Las resistencias de diseño se establecen en base a valores de ensayo, afectados por coeficientes que tienen en cuenta la reducción de resistencia que sufren las piezas debido a factores no presentes en los ensayos de laboratorio. Los ensayos se realizan comúnmente con madera seca (12% Humedad), y con carga de muy corta duración (el ensayo de una pieza dura entre 1 y 5 minutos). Básicamente se realizan dos tipos de ensayos de laboratorio: de probetas libres de defectos y de piezas a escala real.

Con probetas libres de defectos es común adoptar como resultado del ensayo el valor que corresponde al límite inferior del 1 % de la distribución, mientras que en los ensayos de piezas a escala real se adopta el valor que limita el 5% de la distribución de valores.

Hay diferentes metodologías para realizar los ajustes que llevan desde los valores de ensayo a los de diseño. Sin embargo todas consideran los mismos factores y sólo cambian en la forma que se realiza la corrección. En esta ficha se adopta

la metodología sugerida en la normativa europea (EC5).

La figura 1 muestra la secuencia de pasos para llegar desde una distribución de valores de ensayo hasta los distintos valores de diseño.

Tanto para ensayos de probetas normalizadas (sin defectos), como de piezas a escala real, se obtiene el valor de resistencia límite inferior (1% o 5% según caso) en la siguiente forma:

### Probetas normalizadas

$$1\% = \text{med} - 2,33 \text{ sx}$$

### Piezas a escala real

$$5\% = \text{med} - 1,65 \text{ sx}$$

Donde :

1% : esfuerzo al límite inferior del 1%

med : Esfuerzo medio de la muestra

sx : desvío estándar de la muestra

El valor límite se afecta por coeficientes que ponderan las condiciones de ensayo, obteniéndose el valor característico.

Luego, el valor característico se afecta por coeficientes que consideran las reducciones de resistencia debido a las condiciones de humedad y duración de cargas en las condiciones de uso. Estos

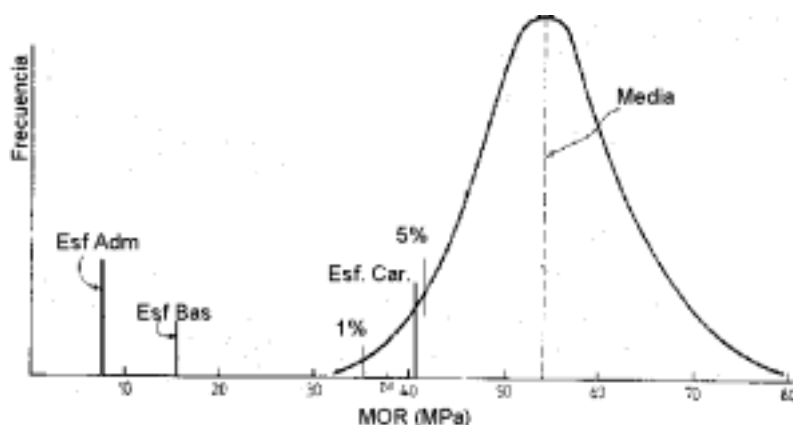


Figura 1. Valores de ensayo y de diseño de una propiedad mecánica de la madera.



coeficientes son específicos para cada tipo de esfuerzo.

$$\sigma_{adm} = \text{car} \times \text{kmod} / \text{ym}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  : esfuerzo admisible o de cálculo

car : Esfuerzo característico

kmod: factor que considera las condiciones de servicio

ym: Factor que pondera la homogeneidad de tipo de material. (Para madera=1,3)

Para esfuerzos de flexión estática, con condiciones de alta humedad y cargas de más de 10 años, la resistencia de ensayo se reduce en aproximadamente 220% (se divide la resistencia de ensayo por 2,22)

$$\sigma_{bas} = 5\% / 2,22$$

Donde:

$\sigma_{bas}$  : Esfuerzo básico

$\sigma_{1\%}$  : esfuerzo al límite inferior del 1%

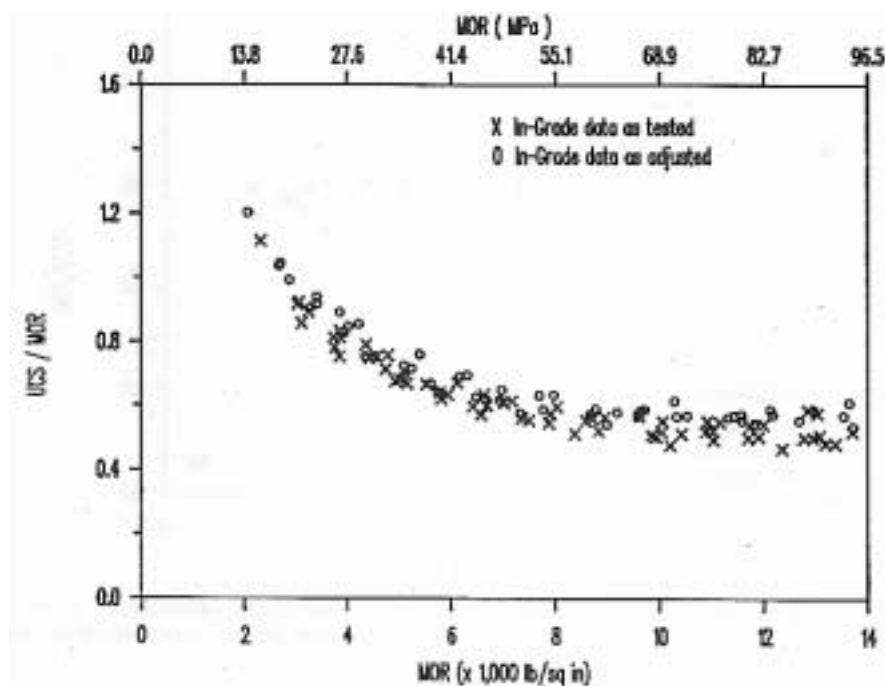
$\sigma_{car}$  : Esfuerzo característico

Por último, en valores obtenidos de probetas sin defectos, se aplican coeficientes que consideran la reducción de resistencias debida a defectos. Hay numerosas experiencias principalmente desarrolladas en la primer mitad de siglo XX, que han mostrado que un mismo defecto origina una disminución similar de esa propiedad en piezas de diferentes especies o procedencias. Por ejemplo, la norma ASTM D 245 indica los coeficientes de afectación de resistencias de madera libre de defecto, para distintos tamaños de nudos.

En ensayos a escala real se evalúan piezas representativas de un determinado tipo de madera, con los defectos que contienen. Los valores de diseño para ese tipo de piezas se obtienen corrigiendo los resultados de los ensayos por los coeficientes de humedad y duración de carga, y son válidos para maderas de las características (especie y defectos) como las ensayadas. La aplicación de esta metodología da lugar a la clasificación visual de la madera estructural, donde cada clase incluye aquellas piezas cuyos defectos se ubican dentro de los límites establecidos por la clase. Como ejemplo se puede citar las reglas de clasificación de las asociaciones de productores de EEUU (WWPA, SPIB, etc).

**Tabla 1.** Factor de servicio Kmod., para las clases de duración de carga y condiciones de humedad aplicadas en Europa (EC5)

Tipo de Carga	Duración	Ejemplos de carga	Kmod para Clases de servicio por humedad	
			1 y 2	3
Permanente	Más de 10 años	Propio peso	0,60	0,50
Larga duración	6 meses-10 años	Almacenaje	0,70	0,55
Media duración	1 mes-6 meses	Cargas impuestas	0,80	0,65
Corta duración	Menos a 1 semana	Nieve y viento	0,90	0,70
Instantánea		Cargas accidentales	1.10	0,90



**Figura 2.** Variación de la relación entre esfuerzo máximo de compresión y MOR a flexión, en función del MOR, para piezas de 2" x 4", en 3,7 mt y 15% de humedad (Green, 1997)

### 3. Determinación de los valores de diseño a los distintos esfuerzos.

La buena correlación encontrada entre los valores de resistencia a los distintos esfuerzos dio lugar a la elaboración de métodos, con los cuales conociendo la resistencia (máxima o característica) a un esfuerzo (propiedad de referencia), es posible determinar las resistencias a los otros esfuerzos para cada tipo de madera. Como esfuerzos de referencia se establecieron la resistencia y rigidez a flexión y la densidad de la madera. La figura 2 muestra en el eje de ordenadas la relación hallada entre las resistencias máximas a compresión (UCS) y a flexión (MOR) para piezas de madera sin defectos, y a su vez

como cambia esta relación cuando pasamos de maderas menos resistentes a otras de mayor resistencia (eje de abscisas).

La EN 384 permite calcular los esfuerzos característicos a compresión y tracción, tanto paralela como perpendicular a las fibras, y corte paralelo a partir del módulo de elasticidad (MOE), el módulo de rotura (MOR) y la densidad de la madera que se obtiene en ensayos de piezas a escala real.

### 4. Resistencias de diseño de maderas de la Patagonia.

La aplicación de cualquier tipo de madera en elementos estructurales, re-

quiere para el cálculo del proyecto de los valores de resistencia de diseño de ésta. En Argentina aún no se dispone de una metodología específica para asignar tales resistencias. Esto origina la existencia de valores de diseño para maderas usadas en el país de los cuales se desconocen los criterios con que fueron determinados.

Frente a esta situación, y hasta tanto en Argentina se acuerden las metodologías y los valores recomendados para el diseño de elementos de madera, se presentan valores de referencia de la resistencia de diseño para las maderas de uso frecuente en Patagonia, en base a los criterios indicados en la normativa europea EC-5.

## 5. Requisitos de las piezas de madera

Los valores indicados en esta Ficha Técnica se aplican SOLO a piezas de madera maciza que cumplan funciones estructurales. No se aplican a maderas laminadas u obtenidas de algún proceso industrial.

Si bien esta ficha no es una regla de clasificación de madera estructural, en piezas sometidas a esfuerzos de tracción o flexión es necesario indicar un límite de tolerancia máximo a la presencia de nudos.

Esta restricción por nudos se aplica SOLO a las piezas de madera diseñadas para esfuerzos de flexión estática y tracción paralela a las fibras.

En los restantes esfuerzos no se imponen restricciones por defectos.

Para esfuerzos de Flexión: En la zona central de las caras anchas de cada pieza (cA de la Figura 3) puede haber nudos solitarios o en grupos, que no superen el 60 % del ancho de la cara, medidos como se indica en Figura 4.

Para esfuerzos de Tracción Paralela a las Fibras: No puede haber nudos solitarios o en grupos que superen el 60 % del ancho de la cara, medidos como se indica en Figura 4, en ninguna parte de la pieza.

La medida del nudo se realiza como indica la figura 4.

## 5. Resistencias de diseño recomendadas

Las Resistencias indicadas en este ítem fueron obtenidas según la metodo-

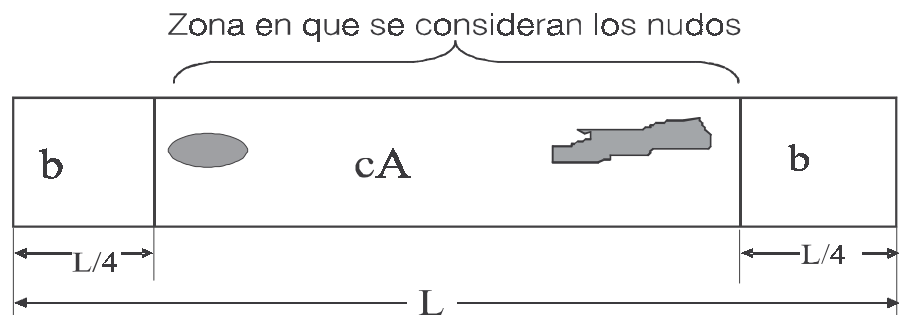


Figura 3. Nudos que se consideran en las piezas sometidas a flexión estática.

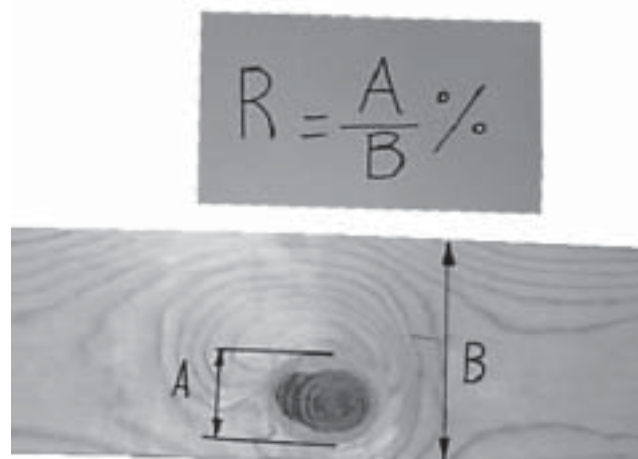


Figura 4. Medida de cada nudo



Foto 1. Madera estructural en construcciones.

**Tabla 2.** Resistencia de diseño recomendadas para maderas la crecidas en Patagonia y Pino Misionero.

	Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )			Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )		Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )		Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )
	$\sigma_{dis}$ Min.	$\sigma_{dis}$ Max	MOE	$\sigma_{dis}$ = fibra	$\sigma_{dis}$ ⊥ fibra.	$\sigma_{dis}$ = fibra	$\sigma_{dis}$ ⊥ fibra.	$\tau_{dis}$ = fibra
Pino Ponderosa	45*	55*	42.000	30*	2	38	10	5
Pino Radiata	45*	60*	50.000	32*	2	40	12	5
Pino Misionero	65*	75*	70.000	42*	3	54	15	7
Álamo	45*	55*	42.000	30*	2	38	10	5
Lenga	80*	90*	90.000	51*	3	64	18	8

\*Las piezas deben cumplir lo indicado en el punto 5.

logía indicada en los puntos 2 y 3. Los valores de resistencia y rigidez a flexión estática y de densidad característica de las maderas indicadas en la Tabla 2 (a excepción del Pino Misionero) fueron obtenidos de estudios disponibles en la bibliografía, realizados con maderas originadas en Patagonia. Las resistencias a los otros esfuerzos indicados en esta ficha fueron obtenidas en relación a los valores de flexión (EN 384).

En flexión estática se indica un intervalo de resistencias de diseño recomen-

dables. Este intervalo no presenta una considerable amplitud, teniendo como objetivo el logro de un pequeño beneficio basado en la seguridad del diseñador sobre las condiciones de funcionamiento del elemento. Por ejemplo, vigas diseñadas con bajo porcentaje de carga permanente en relación a la carga total de diseño, o instaladas en condiciones de clima seco, pueden admitir el valor mayor.

La duda o falta de criterios sobre las cargas de diseño o condiciones de uso, lleva a aplicar el valor mínimo del intervalo.

## 6. Bibliografía

- American Society for Testing and Materials. 1994 Standard methods for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. ASTM D.245. Philadelphia, USA.
- EN-384. 1995 Structural Timber Determination of characteristic values of mechanical properties and density.
- EN-338 1996. Structural Timber. Strength Classes.
- Eurocode 5. 1995. EC5. Design of timber structures-Part 1-1: General rules and rules for building. European Committees for Standardization, Bruselas.
- Green, D. y Kretschmann, D. 1997. Properties and grading of southern pine timbers. For. Prod. Jour. 47 (9) 78-85
- Keating, G. 1985. Proof Grading of Timber. Timber Engineering for developing Countries. Part 2. Structural Timber and Products. UNIDO/IO 607, Paper 5 a
- Larsen, H. 1995 Strength grading. Timber Engineering pp. A2 a A8. Centrum Hout, Netherlands
- Lomagno, J. 1997. Propuesta de clasificación Estructural de Nothofagus Pumilio (Poep. Et. End.) (LENGA), II Congreso Forestal Latinoamericano, El Dorado Misiones, Agosto de 1997.
- Lomagno, J. H., Woerner, F. Martiniuk y otros. 1998. Clasificación visual de la madera estructural. Su aplicación a las maderas del pino Misionero. Actas de las XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, 22 al 25 de Septiembre de 1998. Buenos Aires, Argentina.
- Lomagno, J. y K. Arake. 1998. Clasificación visual de vigas de Pinus ponderosa Douglas Ex. Laws obtenidas en Patagonia. Actas de las XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, 22 al 25 de Septiembre de 1998. Buenos Aires, Argentina.
- Wood Handbook. 1999 Wood as an Engineering material. Gen Tec. Rep. FPL-GTR 113. Forest Service.



**Foto 2.** Estructura de techos con piezas de madera sólida y laminada.

