

# Consideraciones sobre las normas para el cálculo de estructuras de madera

Por: Francisco Arriaga Martitegui  
Arquitecto

---

## INTRODUCCION

*Si bien la utilización de la madera como material resistente en España es escasa en la actualidad, debido al empleo generalizado de otros materiales, como el hormigón y el acero, puede pensarse en un posible y próximo aumento de su uso estructural. Entre los factores que pueden contribuir a esta tendencia se encuentran los siguientes: El desarrollo en países europeos cercanos al nuestro, de la tecnología de la madera laminada encolada, con un campo de aplicación adecuado a programas de proyectos que requieran grandes luces libres y aspectos funcionales y estéticos especiales. Como muestra de ésto, tenemos alguna realización en el norte del país, con estructuras laminadas fabricadas en Francia.*

*Igualmente en España se cuentan algunas experiencias prácticas en este tipo de estructuras, pero todavía no de carácter industrial.*

*Otro de los factores que pueden fomentar el uso estructural de la madera es el de la prefabricación y la construcción seca. Las experiencias sobre la vivienda unifamiliar prefabricada de madera, en el INIA y la ETSIM son un ejemplo. La posible extensión del uso del tablero aglomerado como soporte del material de cobertura en la construcción, puede conducir, por su compatibilidad constructiva, al empleo de elementos estructurales de madera en la cubierta.*

*Por otro lado, el desarrollo de las técnicas de*

*protección de la madera contra el riesgo de los ataques xilófagos, garantizan en la actualidad la durabilidad de la madera frente a estos problemas.*

*De esta forma se evidencia la necesidad de llenar el vacío actual sobre normativa de cálculo de estructuras de madera, en nuestro país. Por ello, en estos momentos, se trabaja para la elaboración de normas para el uso de la madera en la construcción, en los aspectos de cálculo, protección xilófaga, tableros, puesta en obra.*

*La finalidad del presente artículo es la de mostrar los posibles enfoques que pueden adoptarse al abordar la normativa sobre el cálculo de estructuras de madera. Se comparan y comentan los criterios de la normativa de algunos países y se destacan las particularidades de la madera frente a otros materiales estructurales. Como resultado del contraste entre los diversos criterios, se extraen conclusiones en orden a elaborar una propuesta de norma equilibrada entre la sencillez de aplicación y el aprovechamiento máximo de las características mecánicas de la madera.*

## POSIBLES ENFOQUES

El problema del cálculo estructural puede resolverse siguiendo diversos caminos. Uno de ellos es el denominado método de los

estados límites. Este enfoque ha sido adoptado para diversos materiales por muchas normativas, tales como las recomendaciones del Comité Europeo del Hormigón y la Federación Internacional del Pretensado. Tal es el caso de la Instrucción EH-82 para obras de hormigón en masa y armado, como ejemplo en nuestro país.

Básicamente, lo que pretende este enfoque, es calcular la estructura para su resistencia última, pero considerando unas cargas mayoradas y unas resistencias del material minoradas sobre los valores característicos, según unos coeficientes de mayoración y minoración, respectivamente, dependientes de los niveles de seguridad adecuados a la ejecución y control de la obra y sus materiales. Se distinguen dos grupos de estados límites:

a) los estados límites últimos, es decir, los correspondientes a la resistencia última o capacidad de carga, y b) los estados límites de servicio, que son los correspondientes a las condiciones normales de servicio. Entre los primeros figuran la rotura de secciones críticas, inestabilidad general de la estructura, el pandeo y la fatiga. Entre los segundos se encuentran la deformación, fisuración y vibración.

Una de las ventajas que ofrece este método es que considera todos los aspectos del diseño en forma ordenada y racional, y facilita la uniformación de criterios de seguridad para estructuras de materiales diferentes.

El otro enfoque es el método de las tensiones admisibles. Este consiste en determinar las solicitaciones de las secciones críticas de la estructura, a partir de los valores característicos de las acciones. Se obtienen después las tensiones a que se encuentran sometidas dichas secciones, debiendo mantenerse por debajo de ciertas tensiones admisibles que se consideran aceptables.

Comparándolo con el método anterior, vemos que el coeficiente de seguridad, o lo que es lo mismo, la relación entre el valor de resistencia considerada última y las tensiones originadas por los valores característicos de las cargas, en este método se encuentra globalmente en la resistencia del material, mientras que en el de los estado límites, se reparte entre los valores de las acciones y las resistencias.

De esta manera se evidencia la desventaja del enfoque de las tensiones admisibles, para determinar la seguridad de la estructura modificando selectivamente las cargas y las resistencias.

## METODO DE LOS ESTADOS LIMITES

En este apartado mostraremos las líneas generales del método de los estados límites recomendado por el Consejo Internacional de la Construcción (CIB, Conseil International du Bâtiment) para el cálculo de estructuras de madera (1).

### Objetivos.

La finalidad de este código es establecer un acuerdo entre los comités nacionales e internacionales, responsables de las normativas de cálculo de estructuras de madera, para asegurar una calidad razonable en dichas estructuras.

Se centra en el uso estructural de la madera en aspectos de cálculo y ejecución, y se aplica sobre las estructuras de madera aserrada, laminada y productos derivados de la madera y en estructuras que contengan tales elementos.

### Valores característicos.

Define como valores característicos de resistencia y módulo de elasticidad como aquellos valores que tienen una probabilidad de un 5% de ser inferiores (es decir, el 95 % de los casos es superior al valor característico). Y es aplicable directamente a una duración de la carga de 3 a 5 minutos (duración de un ensayo de probetas de pequeñas dimensiones y sin defectos), a una temperatura de  $20^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$  y una humedad relativa de  $65 \pm 2\%$ . Cuando los valores característicos se obtengan de un número limitado de ensayos, se corregirán con un factor de seguridad de 0,75.

### Valores medios.

Para las propiedades elásticas del material (módulo de elasticidad) se define como la media de los ensayos, y en las mismas condiciones de temperatura, humedad y duración de los ensayos que para los valores característicos.

### Clases higrométricas.

#### Clase higrométrica 1:

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondientes a una temperatura

de  $20^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$  y una humedad relativa del ambiente que nunca exceda del 80 % y sólo excepcionalmente, y para cortos períodos de tiempo (menor que una semana), que no exceda del 65 %.

Las siguientes estructuras pueden incluirse en esta clase:

– Estructuras interiores en edificios con calefacción permanente, donde las estructuras están ventiladas y protegidas de la humedad.

Clase higrométrica 2:

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de  $20^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$  y una humedad relativa del ambiente que no exceda de 40 %, excepto en casos excepcionales y sólo en cortos períodos de tiempo (menor que una semana), del 80 %.

Las siguientes estructuras pueden incluirse en esta clase:

– Estructuras en edificios no calefactados permanentemente, ventilados, en los que la falta de actividad hace probable un ambiente

más húmedo, por ejemplo viviendas de vacaciones, garajes no calefactados, almacenes, etc....

– Estructuras de cubierta ventilada y otras estructuras protegidas contra las inclemencias.

Clase higrométrica 3:

Cualquier otra condición higrométrica.

Las siguientes estructuras se incluyen en esta clase:

– Encofrados y andamios.

– Estructuras en contacto con el agua.

Duración de la carga.

Las acciones se clasifican según su duración en los siguientes tipos (Tabla 1).

Estados límites.

Una estructura o una parte de una estructura, se considera que ha dejado de tener capacidad para cumplir su misión, cuando alcanza un particular estado, llamado estado límite, en el cual uno de los criterios relativos a su capacidad de carga o a sus condiciones de servicios, es infringido.

Estados límites últimos:

Corresponden a la máxima capacidad de carga. Pueden corresponder a:

- Pérdida de la estabilidad de la estructura o parte de ella.
- Rotura de secciones críticas.
- Pandeo (inestabilidad local).

Estados límites de servicio.

Corresponden a criterios de uso en condiciones normales. Pueden corresponder a:

- Deformaciones que afecten al uso o a **aspectos estéticos** no estructurales.

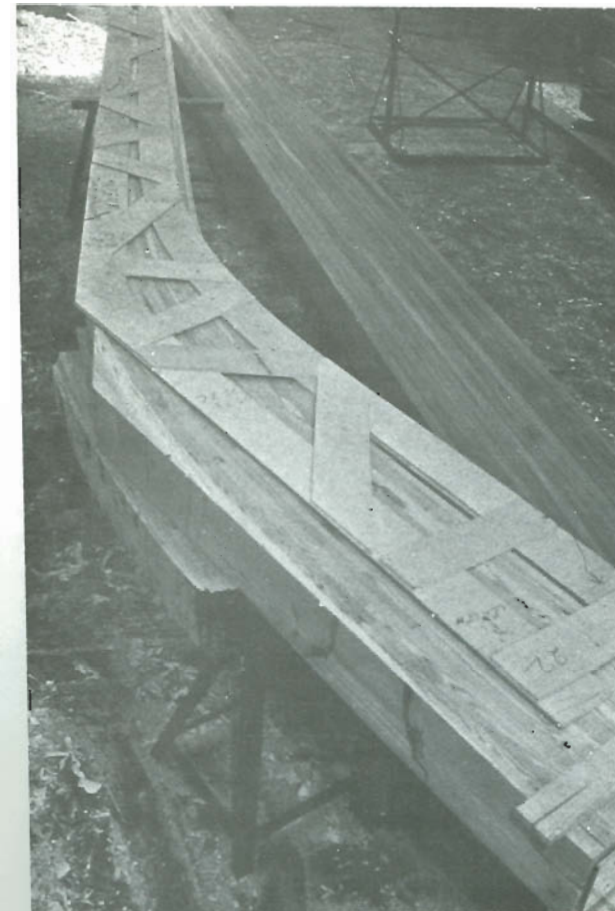
Acciones y combinaciones.

Acciones:

Las acciones vienen dadas por sus valores característicos, fijados por los reglamentos de cada país. Que denominaremos  $F_k$ . Por otro lado, se define como valor de la acción en una combinación de acciones, como el valor característico corregido por un factor de la combinación,  $C$ , que tiene en cuenta la probabilidad reducida de que se den simultáneamente varias acciones.

– Valor característico:  $F_k$ .

– Valor de la combinación:  $C \times F_k$ .



Las acciones pueden ser:

- Acciones permanentes.
- Acciones variables.
- Acciones accidentales.

### Combinaciones de acciones.

Se distinguen dos tipos de combinaciones, en los estados límites últimos:

Combinaciones ordinarias, que se componen de:

- Acción permanente +
- Una acción variable con su valor característico +
- Acciones variables con sus valores de combinación.

Combinaciones accidentales, que se componen de:

- Acción permanente +
- Una acción accidental con su valor característico +
- Acciones variables con sus valores de combinación.

### Acciones de cálculo:

Las acciones de cálculo,  $F_d$ , se obtienen multiplicando el valor característico o de combinación, por un coeficiente de mayoración  $\gamma_f$ .

$$F_d = \gamma_f \times F_k \quad \text{ó} \quad F_d = \gamma_f \times C \times F_k$$

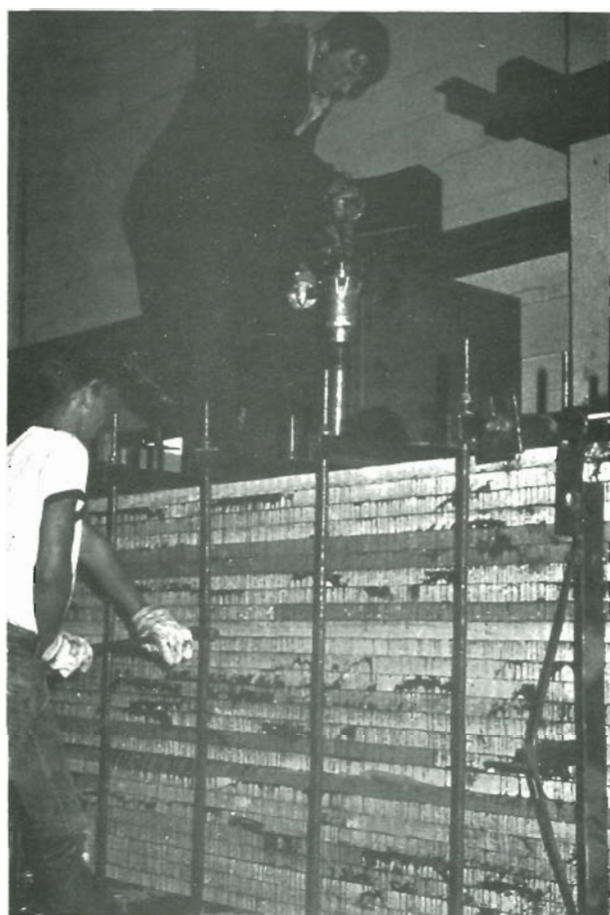


Tabla 1

CLASE	DURACION	EJEMPLOS
Permanente .....	$> 10^5$ h. ( $> 10$ años)	Peso propio Empuje de tierras o agua, cargas en algunos almacenes
Normal .....	$10^3 - 10^5$ h. (6 semanas - 10 años)	Sobrecargas Cargas en almacenes Valor frecuente de la nieve en algunas regiones
Corta .....	$10 - 10^3$ h. (10 h - 6 semanas)	Cargas en la mayoría de andamios Valor característico de nieve en algunas regiones Valor frecuente de la carga de viento Acciones térmicas
Muy corta .....	$< 10$ h.	Sobrecargas de uso en cubiertas no transitables para mantenimiento Valor característico del viento
Instantánea .....	$< 3$ seg.	Ráfagas de viento Impacto Terremoto



Tabla 2

Combinación	Acción	$\gamma f$	Efecto desfavorable	Efecto desfavorable
Ordinaria .....	permanente variable	$\gamma p$	1,0 .....	0,8
		$\gamma v$	1,3 .....	0,0
Accidental .....	permanente variable accidental	$\gamma P$	1,0 .....	1,0
		$\gamma v$	1,3 .....	0,0
		$\gamma a$	1,0 .....	0,0
De servicio .....	permanente variable	$\gamma p$	1,0 .....	—
		$\gamma v$	1,0 .....	—

La combinación de acciones de cálculo para combinaciones ordinarias será:

$$\gamma p, des \times Fp, des + \gamma p, fav \times Fp, fav + \gamma v (Fv, 1 + C_2 \times Fv, 2 + C_3 \times Fv, 3 \dots)$$

y para las combinaciones accidentales:

$$\gamma p, des \times Fp, des + \gamma p, fav \times Fp, fav + \gamma a \cdot Fa + \gamma v (C_1 \times Fv, 1 + C_2 \times Fv, 2 + C_3 \times Fv, 3 \dots)$$

### Resistencia de cálculo.

Los valores de cálculo de las resistencias de la madera se obtienen a partir de los valores característicos, ya modificados de acuerdo con la clase climática y la duración de la carga, dividiéndolos por un coeficiente  $\gamma m$ , cuyo valor es:

Para estados límites de servicio:  $\gamma m = 1,0$

Para estados límites últimos: según la tabla 3 (valores provisionales).

### Clasificación de resistencias estándares para madera aserrada.

Considera cinco clases de resistencia en madera aserrada: SC 150, SC 190, SC 240, SC 300, SC 380, (SC = Strength classes). Una pieza de madera clasificada visualmente por sus defectos, pertenecerá a una determinada resistencia estándar si su resistencia característica a la flexión  $f_m$  y su módulo de elasticidad en flexión  $E_o$ , no son menores que los valores correspondientes a su clase, dados por la tabla siguiente.

En el caso de piezas clasificadas mecánicamente, deberá cumplir, además, que la resistencia característica a la tracción paralela a la fibra, no sea inferior a los valores correspondientes a su clase, dados por la tabla 4.



Tabla 3

Tipos de daños	Coeficiente de minoración $\gamma_m$		CONSECUENCIAS
	(1)	(2)	
Poco graves .....	1,26	1,35	Riesgo de vidas humanas mínimo y consecuencias económicas pequeñas
Graves .....	1,40	1,50	Existe riesgo de vidas humanas y/o consecuencias económicas considerables
Muy graves .....	1,54	1,65	Gran riesgo de vidas humanas y/o consecuencias económicas muy grandes

(1) Para estructuras o elementos estructurales producidos en fábrica bajo control y para estructuras o elementos estructurales en los que los valores característicos se obtienen mediante ensayos.

(2) En otros casos.

Tabla 4

Clasificación de Resistencias características Estándares (Valores provisionales) en  $Kp/cm^2$

CLASES	SC 150	SC 190	SC 240	SC 300	SC 380
Resistencia característica a flexión: $f_m$ .....	150	190	240	300	380
Módulo elasticidad en flexión media: $E_o$ .....	60.000	72.000	85.000	100.000	120.000
Resistencia característica a tracción: $f_{t_o}$ .....	60	90	160	200	25.000

Clasificación de resistencias estándares para madera laminada.

Se distinguen tres clases: SCL 300, SCL 380, SCL 470 (SCL = Strength classes laminated). Una pieza de madera laminada constituida su sección completa de una sola especie de madera, puede referirse a una determinada clase de resistencia, si la resistencia característica a flexión,  $f_m$ , y su módulo de elasticidad en flexión medio,  $E_o$ , no son inferiores a los valores dados en la tabla siguiente (tabla 5).

En otros casos se requerirá, además, que la resistencia característica a la tracción paralela a la fibra no sea inferior a los valores de la tabla 5.

Valores característicos para elementos de madera aserrada.

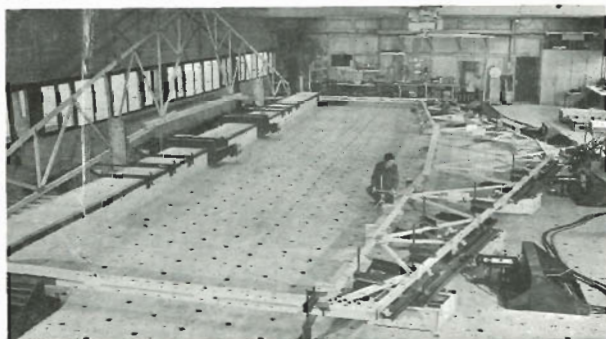
Los valores característicos para las diversas clases de resistencias estándares se dan en la tabla 6.

Valores característicos para elementos de madera laminada.

Los valores característicos para las clases de resistencia estándares de madera laminada, definidas anteriormente se dan en la tabla 7.

Factores de modificación de los valores característicos.

Para ajustar los valores característicos, de madera aserrada o laminada, a la duración de las acciones y a la clase higrométrica, se aplicarán los factores de la tabla 8, multiplicándolos por dichos valores característicos.



EL METODO DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

A pesar de que en su mayoría las normativas recientes para el cálculo de estructuras de acero y de hormigón están basados en el enfoque de estados límites y en métodos de resistencia última, los reglamentos para estructuras de madera conservan todavía los formatos convencionales de tensiones admisibles. (Esto se debe principalmente a la dificultad de establecer métodos congruentes con los recomendados para otros materiales por la insuficiencia de la información disponible).

Así dentro de las normas típicas para estructuras de madera que siguen el planteamiento de las tensiones admisibles, se encuentran las Británicas (2), que conservan su anterior enfoque en la reciente versión (3), y las de la National Forest Products Association de los Estados Unidos (4). Sin embargo las ventajas que presenta el enfoque de los estados límites, hace pensar que la evolución de las normativas tenderá a su adopción. Como ejemplo encontramos la propuesta de norma del Conseil International du Bâtiment (CIB), anteriormente resumida. En Canadá parece próxima la adopción del enfoque de estados

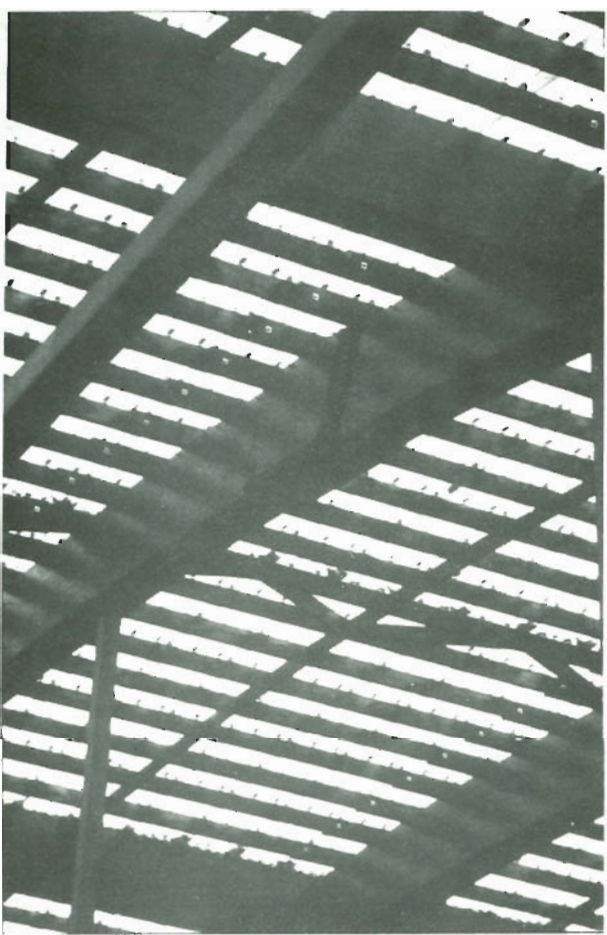


Tabla 5  
Clasificación de Resistencias estándares para madera laminada (Valores provisionales) En  $Kp/cm^2$

CLASES	SCL 300	SCL 380	SCL 470
Resistencia característica a flexión: $f_m$ .....	300	380	470
Módulo elasticidad flexión media: $E_O$ .....	100.000	120.000	120.000
Resistencia característica a tracción: $f_t, 0$ .....	200	250	300

Tabla 6  
Valores característicos de madera aserrada  
Valores provisionales ( $Kp/cm^2$ )

Valores característicos (Para cálculo de resistencias)	SC 150	SC 190	SC 240	SC 300
Flexión ..... $f_m$	150	190	240	300
Tracción    fibra ..... $f_t, 0$	60	90	160	200
Tracción $\perp$ fibra ..... $f_t, 90$	7,5	7,5	7,5	7,5
Compresión    fibra ..... $f_c, 0$	140	180	230	280



Tabla 6 (Continuación)

Valores característicos (Para cálculo de resistencias)		SC 150	SC 190	SC 240	SC 300
Compresión $\perp$ fibra .....	$f_c, 90$	60	70	70	70
Cortante (*) .....	$f_v$	25	30	30	30
Módulo de elasticidad ...	$E_o$	42.000	54.000	69.000	80.000
Valores medios (Para cálculo de deformaciones)					
Módulo elasticidad $\parallel$ ....	$E_o, med$	60.000	72.000	85.000	100.000
Módulo elasticidad $\perp$ ....	$E_{90}, med$	2.500	3.000	3.500	4.000
Módulo de cortadura ...	$C med$	3.750	4.500	5.250	6.000

(\*) En cortante rodante (rolling shear) de admitirse una resistencia igual a  $f_v/2$ .

límites (5,6 y 7). En la Unión Soviética hace tiempo que se emplea este método, en común para estructuras de madera y los demás materiales estructurales (8).

### Tensiones básicas.

Las tensiones básicas de una madera son aquellas tensiones que puede resistir permanentemente, o durante un período de tiempo determinado según la norma, con un cierto contenido de humedad y con seguridad la madera libre de defectos que pudieran reducir sus características mecánicas.

Para su determinación se obtienen los valores característicos con una probabilidad determinada (variable según normas: 95-99 %), y son reducidos con un coeficiente de seguridad, que al igual que en otros materiales trata de incluir los siguientes factores: errores de cálculo, sobrecargas accidentales, defectos de fabricación, duración de las acciones reales frente a la corta duración de los ensayos, tamaño de las probetas y no sobrepasar el límite elástico.

Estos coeficientes de reducción se basan en la interpretación de la experiencia acumulada.

En la tabla 9 se resume el proceso de determinación de las tensiones básicas en las Normas Inglesas y Americanas.





Tabla 7

Valores característicos (Para cálculo de resistencias)		SCL 300	SCL 380	SCL 470
Flexión .....	fm	300	380	470
Tracción    a fibra .....	ft, o	200	250	300
Tracción ⊥ a la fibra .....	ft, 90	7,5	7,5	7,5
Compresión    a la fibra .....	fc, 0	280	360	450
Compresión ⊥ a la fibra .....	fr, 90	70	70	70
Cortante (*) .....	fv	30	30	30
Módulo de elasticidad .....	Eo	80.000	96.000	96.000
Valores medios (Para cálculos de deformación)				
Módulo de elasticidad    a la fibra ....	Eo, med	100.000	120.000	120.000
Módulo de elasticidad ⊥ a la fibra ....	E 90, med	4.000	5.000	5.000
Módulo de cortadura .....	G med	6.000	7.500	7.500

(\*) En cortante rodante (Rolling shear) se puede admitir una resistencia igual a  $fv/2$ .

Tabla 8

Valores provisionales de modificación de valores característicos

Duración	Valores para cálculos de Resistencia			Valores para cálculos de Deformación		
	Clase Higrométrica			Clase Higrométrica		
	1 y 2	3		1	2	3
Permanente .....	0,55	(0,35)	0,45 (0,30)	0,70	0,60	0,40
Normal .....	0,60	(0,40)	0,50 (0,35)	1	0,80	0,70
Corta .....	0,70	(0,60)	0,60 (0,50)	1	0,80	0,70
Muy corta .....	0,90	(0,85)	0,75 (0,70)	1	0,80	0,70
Instantánea .....	1,10	(1,10)	0,95 (0,95)	—	—	—

x. Cuando un estado de carga está compuesto de cargas de diferente duración se utilizará el factor correspondiente a la acción de más corta duración.

x. Los valores entre paréntesis se aplican a la tracción perpendicular a la fibra.

Las normas inglesas dan valores de tensiones básicas para la humedad del 18 % y por encima de este valor, lo que llama madera verde. Los valores básicos resultantes son aplicables para cargas de duración permanente. Los ensayos se realizan sobre probetas de sección de

2 x 2 cm.

Por otro lado, las normas americanas utilizan en los ensayos probetas de 2 x 2 pulgadas de sección general, y los valores básicos son aplicables bajo acciones de duración "normal" (10 años).

## CLASIFICACION DE

### LA MADERA.

El objetivo de la clasificación de la madera en grupos de resistencia es el de valorar la influencia de las particularidades que presenta una pieza real (generalmente denominados defectos), como son los nudos, fendas y acebolladuras, desviación de la fibra, anillos de crecimiento y gemas. Para ello se fijan unas calidades para madera aserrada y para madera para laminar, con sus correspondientes exigencias de limitación de la magnitud de los defectos.

En el caso de la norma británica, que puede servir de ejemplo, ya que todas las normativas de clasificación siguen planteamientos similares, clasifica la madera aserrada en cuatro calidades; 0,75 - 0,65 - 0,50 y 0,40; aplicando unos coeficientes reductores de la tensión básica respectivamente, y con pequeñas variaciones, según los diversos esfuerzos de 0,75 - 0,65 - 0,50 y 0,40.

En la última versión quedan reducidas a dos calidades.

La madera utilizada como tabla para laminar es clasificada en tres calidades: LA, LB y LC, en función del tamaño relativo de nudos y desviación de la fibra. Aplicando unos coeficientes de modificación de la tensión básica dependientes de la calidad o composición de calidades, número de láminas y tipo de esfuerzo.

## Métodos de clasificación.

Existen dos formas de clasificar la madera: los métodos visuales, hasta el momento los más empleados y los métodos mecánicos, de uso más reciente y con tendencia a generalizarse. Cada país tiene unas reglas de clasificación que suelen diferir bastante entre sí. Por ejemplo, para madera aserrada, las normas suecas establecen seis calidades, la última versión de las inglesas sólo dos calidades, la francesa y la alemana tres calidades y la norma UNE española seis calidades.

La aplicación rigurosa de la clasificación visual supone la inspección de todas las piezas por personal capacitado. Por ello, cuanto más compleja sea la reglamentación de clasificación, mayor será el tiempo necesario y la especialización del personal. Lo cual, podría conducir en la práctica a una clasificación con poco rigor. Por ello parece conveniente tender a reglas realistas, sencillas de aplicar y a un número reducido de calidades, de manera que se pueda confiar en su aplicación. Con el fin de evitar la desventaja de la clasificación visual, en la que es difícil actuar de un modo objetivo, se han desarrollado, recientemente, métodos de clasificación mecánica. Estos métodos se basan en la relación que existe entre el módulo de elasticidad y la resistencia de la madera con defectos. Para ello se someten las piezas a clasificar a una pequeña

Tabla 9

Esfuerzo	Normas Inglesas			Normas Americanas		
	Probabilidad %	Kp	Kr	Probabilidad %	Kp	Kr
Flexión .....	99	2,33	2,25	95	1,65	2,10
Comp.    fibra .....	99	2,33	1,40	95	1,65	1,90
Comp. ⊥ fibra .....	97,5	1,96	1,20	95	1,65	1,50
Cortant.    fibra .....	99	2,33	2,25	95	1,65	4,10
Mod. Elást. Medio .....	—	—	1,00	—	—	1,00
Mod. Elást. Mín. ....	99	2,33	1,00	95	1,65	1,00

De tal forma que:

$$F_b = \frac{f_m - k_p \cdot D}{k_r}$$

Donde:  $f_b$  = tensión básica  
 $f_m$  = tensión media  
 $k_p$  = coeficiente de probabilidad  
 $k_r$  = coeficiente de reducción  
 $D$  = desviación estandar

carga aplicada sobre tramos pequeños, mientras la pieza va desplazándose por la máquina, que registra la deformación máxima. Así se determina el módulo de elasticidad y, conociendo su relación con la resistencia, puede clasificarse. Según algunos autores, la relación entre la rigidez y la resistencia, es independiente de la especie y, quizás, el inconveniente que presenta es que el sistema no refleja la influencia de los defectos en la resistencia a cortadura.

Es de esperar una evolución hacia el empleo de métodos mecánicos de clasificación, ya que ofrecería la posibilidad de una más fácil y operativa normalización, a la vez que una garantía, ya que si bien podemos determinar con suficiente fiabilidad las tensiones básicas y valorar los factores que intervienen en la resistencia de piezas aserradas o laminadas, la clasificación visual no presenta, en su realización práctica, la misma precisión. En España la clasificación se realiza visualmente debido a la escasa utilización estructural de la madera, lo cual no justifica la inversión en máquinas clasificadoras. En las referencias bibliográficas 12 y 13 se pueden consultar información sobre la clasificación mecánica.

Tensiones admisibles.

Para la obtención de las tensiones admisibles a partir de las tensiones básicas, se aplican las siguientes correcciones:

- a) Factores de reducción por clasificación. Según se explicó anteriormente se aplican unos coeficientes reductores correspondientes al grado de calidad.
- b) Factores de modificación por la duración de las acciones: La madera puede resistir una carga mayor, cuanto menor sea su duración. Las tensiones básicas se refieren a una determinada duración de las acciones (permanente en el caso de las normas inglesas y de duración "normal", 10 años, las americanas); así, se adoptan ciertos criterios de modificación, que podemos comparar en las tablas 10 y 11.

En el caso de una combinación de acciones de diferente duración se aplica el factor correspondiente a la carga de más corta duración.

- c). Factores de modificación por la humedad: algunas normas como la inglesa, consideran dos posibilidades, superior al 18 % e inferior o igual

Tabla 10

NORMAS AMERICANAS

Permanente .....	0,9
Normal (10 años) .....	1,0
2 meses (nieve) .....	1,15
7 días .....	1,25
Viento o terremoto .....	1,33
Impacto .....	2,00

Tabla 11

NORMAS INGLESAS

- Larga duración.  
(carga muerta + sobrecarga permanente)..... 1,00
- Media duración.  
(carga muerta + nieve,  
carga muerta + sobrecarga temporal)..... 1,25
- Corta duración.  
(carga muerta + sobrecarga + viento,  
carga muerta + sobrecarga + viento + nieve) 1,50
- Muy corta duración.  
(carga muerta + sobrecarga + viento en  
rachas ) ..... 1,75

al 18 %. Otras como las francesas establecen las tensiones básicas para el 15 % y dan coeficientes de modificación para otros valores diferentes de humedad.

DIVERSOS FACTORES DE MODIFICACION.

Una vez que se conocen las tensiones admisibles, ya corregidas por los factores de aplicación general antes comentados (calidad de la madera, humedad y duración de la carga), todas las normas dan otros factores o criterios de modificación de estas tensiones, en función del tipo de pieza y sollicitación a que están sometidas. A continuación citaremos algunos, intentando establecer una comparación entre los diversos planteamientos.

FACTOR DE FORMA:

en piezas sometidas a flexión, las tensiones admisibles a flexión pueden modificarse multiplicando por el factor de forma correspondiente. Así, la Norma inglesa considera este factor como la unidad para sección rectangular, 1,18 para sección circular maciza y 1,41 para sección cuadrada con cargas en la dirección de la diagonal de la sección. Para el caso de secciones compuestas (en I, en

cajón, etc.) se deberían aplicar sus correspondientes factores de forma. Para estos casos hay normas que no lo citan.

FACTOR DE ALTURA:

este factor se basa en el hecho comprobado mediante ensayos, en los que se vio que el valor de la tensión de rotura era menor cuanto mayor era el canto de la sección sometida a flexión. Hay varias teorías que tratan de justificar éste fenómeno. Una de ellas supone que existe una ayuda de las fibras próximas al eje neutro de la sección, que restringe el pandeo de las fibras más comprimidas del borde de la sección. Y esta ayuda será más efectiva cuanto menor sea la distancia entre la fibra neutra y el borde, es decir, menor sea el canto de la pieza.

Así la norma inglesa CP112: 1971, daba para vigas de madera aserrada y laminada, un factor de reducción aplicable a cantos superiores a 12 pulgadas = 30,48 cm. Y para cantos menores a éste, adoptaba el valor 1

$$K = 0,81 \times \frac{d^2 + 923}{d^2 + 568} \quad (d \text{ en cm})$$

La norma inglesa actual, que sustituye a la anterior CP112, denominada BS 5268. Part. 2 1984; admite mayoración de las tensiones en cantos reducidos. Así para maderas clasificadas según normas BS 4978 y BS 5756, las tensiones admisibles a flexión deben multiplicarse por el factor de modificación siguiente:

K = 1,17 para vigas de madera aserrada con un canto menor o igual a 72 mm

$$K = \left(\frac{300}{d}\right) 0,11 \quad (d \text{ en mm})$$

Para vigas de madera aserrada y laminada con un canto d: 72 < d < 300 mm

$$K = 0,81 \frac{(d^2 + 92.300)}{(d^2 + 56.800)} \quad (d \text{ en mm})$$

Para vigas de madera aserrada y laminada con un canto d mayor que 300 mm

La norma americana de un coeficiente de altura

$$K = \left(\frac{12}{d}\right) 1/9 \quad (d \text{ en pulgadas})$$

para cantos mayores de 12 pulgadas = 30,48 cm y para vigas con carga uniformemente distribuida y una relación luz/canto de la viga (l/d = 21).

Para otras condiciones de carga o esbeltez da unos porcentajes de variación del coeficiente de altura. (Ver gráfico 1).

PIEZAS SOMETIDAS A COMPRESION.

Exponemos a continuación los planteamientos de cálculo de piezas a compresión, de sección maciza (ya sea madera aserrada o laminada), según las Normas Inglesas y Americanas; ref. (4). National Forest. Products Association (NF PA) (1977).

BRITISH STANDARD:

BS 5268. Part. 3. 1984: (3)

Cuando la esbeltez mecánica de una pieza sometida a compresión es superior a 5, esta norma de un coeficiente K<sub>E</sub>, para prevenir el fallo por pandeo, que reduce la tensión admisible y tiene el siguiente valor:

$$K_E = 1/2 + C \times R - \sqrt{(1/2 + C \times R)^2 - \frac{\pi^2}{1,5 \times \lambda^2} \times R}$$

siendo:

R = E/σ cadm ||

E = módulo de elasticidad mínimo

σ cadm || = resistencia a la compresión paralela a la fibra, admisible para piezas con esbeltez mecánica inferior a 5. (Sólo modificada por la clasificación, humedad y duración de la carga).

C = (1 + η) π<sup>2</sup> / (3 × λ<sup>2</sup>)

λ = esbeltez mecánica de la pieza = L/i

L = longitud de pandeo de la pieza = longitud real × factor dependiente de las condiciones de la unión.

i = radio de giro mínimo de la pieza

η = 0,005 × λ

El valor máximo de λ no excederá de 180 en elementos principales, y de 200 en secundarios.

OTROS FACTORES DE MODIFICACION.

Además de los comentados, existen otros coeficientes de modificación que son adoptados con criterios más o menos parecidos, en diversas normas. Dentro de éstos, estarían el coeficiente de curvatura



FIGURA 1

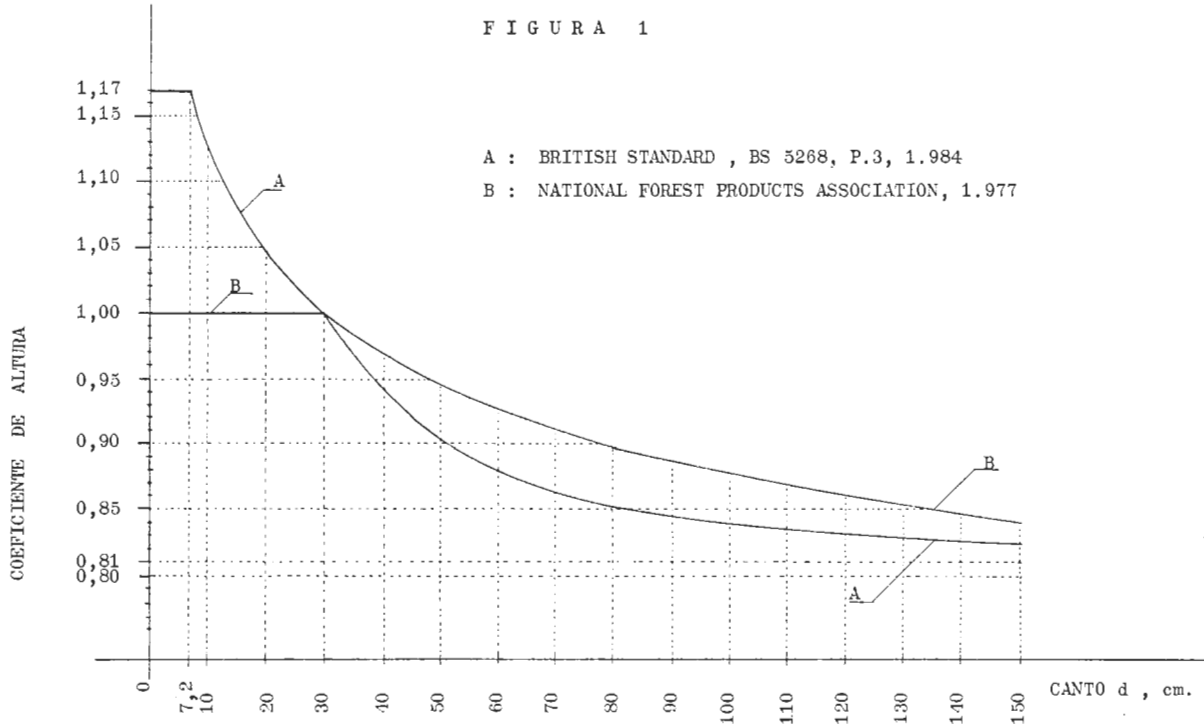
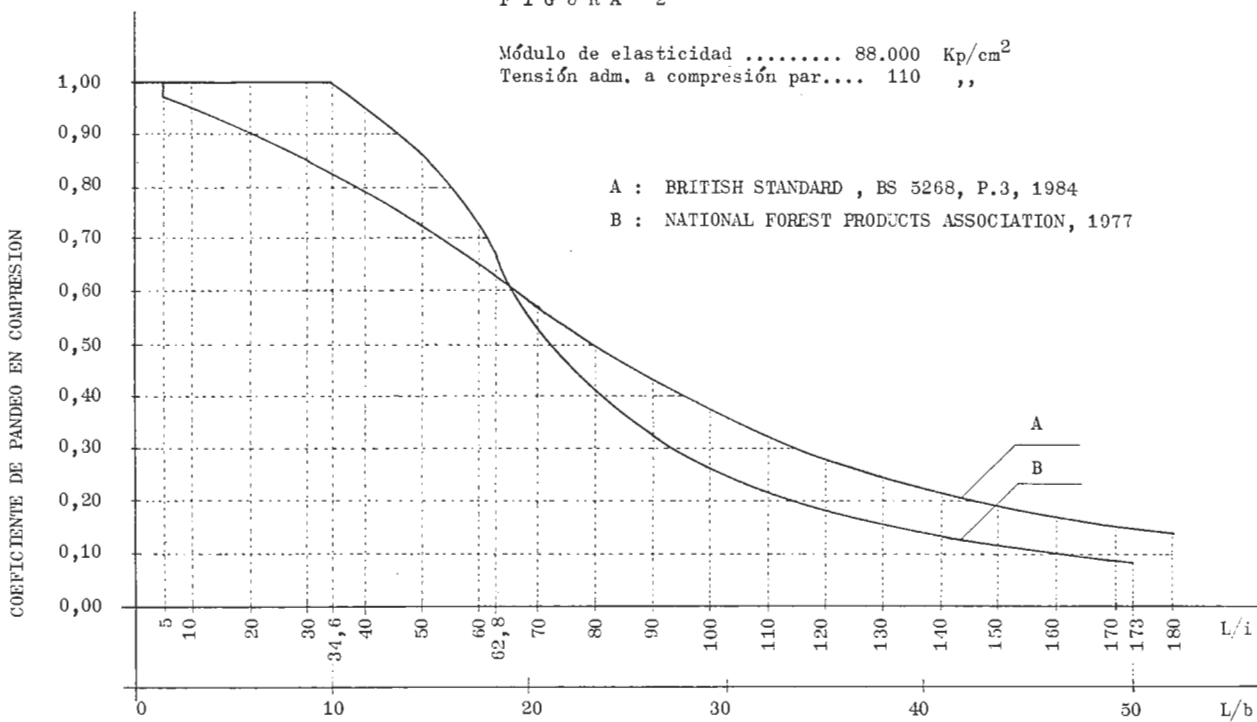


FIGURA 2



de las láminas, en piezas laminadas curvas, coincidente en las normas inglesa y americana. La estabilidad lateral en vigas es tratada en la norma británica mediante unas limitaciones de esbeltez máxima, dentro de las cuales no se precisa la comprobación del pandeo lateral. Mientras que el National Forest Products Association establece un método de cálculo que incluye la posibilidad del pandeo lateral.

Por otro lado, la norma inglesa admite un aumento de tensiones admisibles de un 10 % en flexión, para el caso de sistemas de carga compartida, definido por unas limitaciones de separación entre piezas iguales y unas condiciones que garanticen la distribución transversal de la carga.

#### EJEMPLO COMPARATIVO.

Basándonos en los resultados obtenidos de los ensayos sobre características mecánicas del Pino Insignis (15), se intentará establecer una comparación entre los planteamientos antes mostrados. Estos serán el modelo propuesto del CIB, la normativa inglesa y la americana. Los ensayos de características mecánicas, del referido estudio, se han realizado siguiendo las normas UNE, que son de idéntica metodología, excepto una ligera variación en el esfuerzo cortante, a

las normas británicas.

La utilización de estos valores, a la forma de obtención de las tensiones básicas de la norma americana, que como vimos empleaba probetas de sección general de 2 x 2 pulgadas, implica un cierto error o desfase, pero que consideraremos pequeño.

Referidos al 12 % de humedad (en Kg/cm<sup>2</sup>), tenemos en la tabla 12 los resultados de los ensayos. Y en la tabla 13, las tensiones básicas.

#### VALORES CARACTERISTICOS Y MODIFICACIONES SEGUN PROPUESTA CIB:

Obtenemos los valores característicos (95 %), y admitiendo equivalente al estado de humedad del 12 %, una clase higrométrica nº 1 y para cargas permanentes, deducimos las correspondientes modificaciones. Tabla 14.

Tabla 12

	Esfuerzo	Valor medio	D. Estandar
Compresión    .....		407	90,58
Compresión ⊥ .....		64	18,53
Flexión .....		850	199,43
M. Elasticidad .....		88.000	27.993

Tabla 13. Tensiones Básicas.

	Permanente	Normal	Per. = Normal × 0,9
Esfuerzo	Norma Británica	Norma Americana	Americana
Compresión    .....	140	136	122
Compresión ⊥ .....	23	22	20
Flexión .....	170	248	223
Módulo de Elasticidad Medio .....	88.000	88.000	88.000
Módulo de Elasticidad Mínimo ..	23.000	42.000	42.000

Estas resistencias características son minoradas con un coeficiente de valor 1,40 para daños graves y estructuras en las que los valores característicos se obtienen por ensayos. Así obtenemos las resistencias de cálculo.

Comparación:

Si suponemos que se trata de una carga

permanente y única, el coeficiente de mayoración de las acciones, según propuesta CIB, es 1,0. Y admitiendo una clasificación por calidad de la madera del 100 %, es decir, sin defectos, estaremos en condiciones de comparar los valores de tensiones admisibles y de cálculo. (Tabla 15).

Tabla 14

Esfuerzo	Valor Característico	Valor Característico Modificado	Resistencia de Cálculo
Compresión    .....	257	141	100
Compresión ⊥ .....	33	18	13
Flexión .....	520	286	204
Mod. Elasticidad Medio .....	88.000	61.600	61.600
Mod. Elasticidad Mínimo .....	42.000	29.400	29.400

Tabla 15

Esfuerzo	CP 112	NFPA	CIB
Compresión    .....	140	122	100
Compresión ⊥ .....	23	20	13
Flexión .....	170	223	204
Mod. Elast. Medio .....	88.000	88.000	61.600
Mod. Elast. Mínimo .....	23.000	42.000	29.400

### CONCLUSIONES:

Hemos visto como los diferentes métodos de cálculo de diversos países siguen, en general, líneas muy similares, aunque pueden llegar a resultados con apreciables diferencias entre sí.

En España, la determinación de las tensiones básicas de la madera se realiza en los laboratorios especializados como el de la Escuela de Montes y el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, siguiendo las normas UNE de determinación de las características mecánicas. Estas se basan en la normativa británica, por lo que parece lógico que la norma de cálculo española tuviera los mismos fundamentos en la determinación de las tensiones básicas y admisibles que aquella.

Por otro lado, aunque es previsible y natural una próxima generalización de los métodos basados en los estados límites y de resistencia última, es posible iniciar una normativa siguiendo los métodos de las tensiones admisibles, quedando abierto a su modificación cuando los otros planteamientos estén más contrastados

e impuestos.

En cuanto a los sistemas de clasificación de calidades de madera, es todavía pronto para pensar en la utilización de métodos mecánicos, generalizados en España; sin embargo, una industrialización de las estructuras de madera, conducirá, sin duda, a ellos. El método visual, por tanto, debería tender a simplificarse, considerando pocas calidades; aunque es preciso dejar abierta la posibilidad de un aprovechamiento máximo de las propiedades mecánicas de la madera, con una clasificación más extensiva, que incluso podría servir como instrumento de peritaje de estructuras existentes.

### REFERENCIAS:

- (1) "Structural Timber Design Code". C. T. B. Couseil International du Batiment. Working Group W 18. Timber Structures. Fourth draft. June 1979.
- (2) CP 112: Part. 2. "The structural use of Timber. Metric Units", British Standards Institution, Londres 1971.
- (3) BS 5268 - British Standard. Part. 3. 1984.
- (4) "National Design Specification for Wood