

LAS TENSIONES ADMISIBLES DE LA MADERA PARA LA CONSTRUCCION EN ALEMANIA

Por: Carlos Baso López
Dr. Ingeniero de Montes

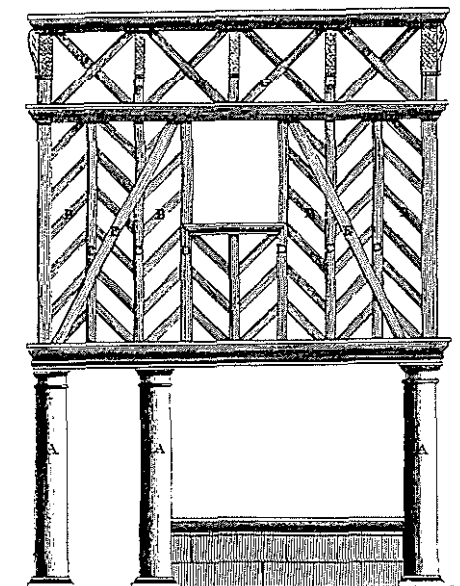
LA norma vigente en la RFA para el dimensionamiento de los elementos estructurales de madera es la DIN 1052, edición de octubre de 1969, según la cual hay que distinguir tres grupos principales de maderas: coníferas europeas, madera laminada de coníferas europeas y roble y haya. Para el primer grupo se consideran tres calidades, para el segundo dos y en el tercero una calidad-media.

El siguiente cuadro, punto 9.1.1 de la norma, resume los distintos valores de las tensiones admisibles para cada grupo y calidad:

TENSIONES ADMISIBLES EN KG/CM² PARA:

Tipo de esfuerzo	Coníferas europeas			Madera laminada de coníferas europeas		Haya y roble
	Calidad			Calidad		Calidad regular
	III	II	I	II	I	
Flexión σ_f	70	100	130	110	140	110
Tracción σ_t II	0	85	105	85	105	100
Comprensión σ_c II	60	85	110	85	110	100
Comprensión σ_c I	20	20	20	20	20	30
	25 (1)	25 (1)	25 (1)	25 (1)	25 (1)	40 (1)
Corte τ II	9	9	9	9	9	10
Corte debido a esfuerzo cortante τ II - T	9	9	9	12	12	10

(1) Utilizando estos valores hay que contar con mayores deformaciones, a considerar desde el punto de vista constructivo cuando sea necesario. En uniones mediante diversos medios no pueden ser utilizados estos valores.



Para madera laminada sólo se tiene en cuenta a las coníferas europeas; por consiguiente, cualquier comprobación de la aptitud de un tipo de madera en este sentido sólo viene al caso cuando se trata de una conífera.

Sin embargo, y fuera del marco de las normas, cualquier elemento estructural de madera, sea de la forma que sea, y de cualquier tipo de madera, puede ser utilizado con sus propias tensiones admisibles, siempre que, tras un estudio en el Centro Oficial de Ensayos de Materiales para la Construcción, se demuestre la exactitud de esas tensiones, en cuyo caso se emite la correspondiente autorización.

Sin considerar esto último, si se quiere estudiar una nueva especie o variedad de conífera, hay que desarrollar un análisis estadístico sobre los resultados de un amplio proceso de ensayos a rotura y aplicar una serie de coeficientes de reducción, todo ello sobre la base de unos principios generales.

Las experiencias realizadas han demostrado que las tensiones de rotura siguen una distribución normal, con un mayor o menor valor medio, pero con una tendencia marcada hacia una mayor dispersión (coeficiente de variación) según aumenta ese valor medio.

El proceso general puede esquematizarse como sigue:

De las tensiones de rotura de un cierto número de probetas libres de defectos correspondientes a una muestra determinada se fija un valor inicial, que corresponde a un cierto percentil de la distribución normal resultante. Posteriormente se aplican a dicho valor unos coeficientes reductores, unos dependientes del material madera y otros independientes.

Del estudio estadístico derivan una tensión media de rotura y un coeficiente de variación. Teniendo en cuenta que en la práctica no es necesario considerar un intervalo de exactitud en la media inferior al 5 por 100, debido al propio error dimensional del que están afectadas las probetas de ensayo, y que en las experiencias realizadas hasta el momento el coeficiente de variación ha oscilado entre el 15 y 20 por 100, se puede adelantar que sería suficiente, en principio, para la muestra de un número de 15 a 20 árboles y dos o tres probetas por árbol, siempre que se preste atención al muestreo, especialmente en lo correspondiente al reparto del área total ocupada por la especie en zonas homogéneas de similar importancia, elección de árboles y lugar de las probetas dentro del tronco en cuanto a altura y situación respecto al eje del fuste.

La selección debe ser totalmente al azar, sin ninguna influencia por parte de la persona que la efectúa y con restitución, pero teniendo en cuenta que no puede haber en la muestra dos probetas consecutivas del mismo árbol.

La siguiente expresión define más exactamente el mínimo tamaño de la muestra para un intervalo de confianza del 90 por 100 y cuando ya se conoce la desviación típica, o se ha indagado ésta a partir de una muestra piloto de al menos 25 unidades:

$$\left(\frac{1,64 \cdot o}{a} \right)^2$$

Donde:

o = Desviación típica.

a = Intervalo de exactitud de la media; en nuestro caso, el 5 por 100 de su valor.

Como norma general y con las hipótesis anteriores se toma como valor inicial el percentil (intervalo de confianza) del 90 por 100 de la distri-

bución normal de los resultados de los ensayos a rotura de la muestra. Lo cual significa que sólo el 5 por 100 de los ensayos realizados conducen a tensiones de rotura inferiores a ese valor inicial.

También hay que considerar una reducción del 5 por 100 en el valor de la media, debido a la estimación de ese valor medio, con lo cual, denominando 5 por 100 B al valor inicial de la tensión, tenemos:

$$5\% B = \bar{B} (1 - 1,64 \cdot V - 0,05)$$

Donde:

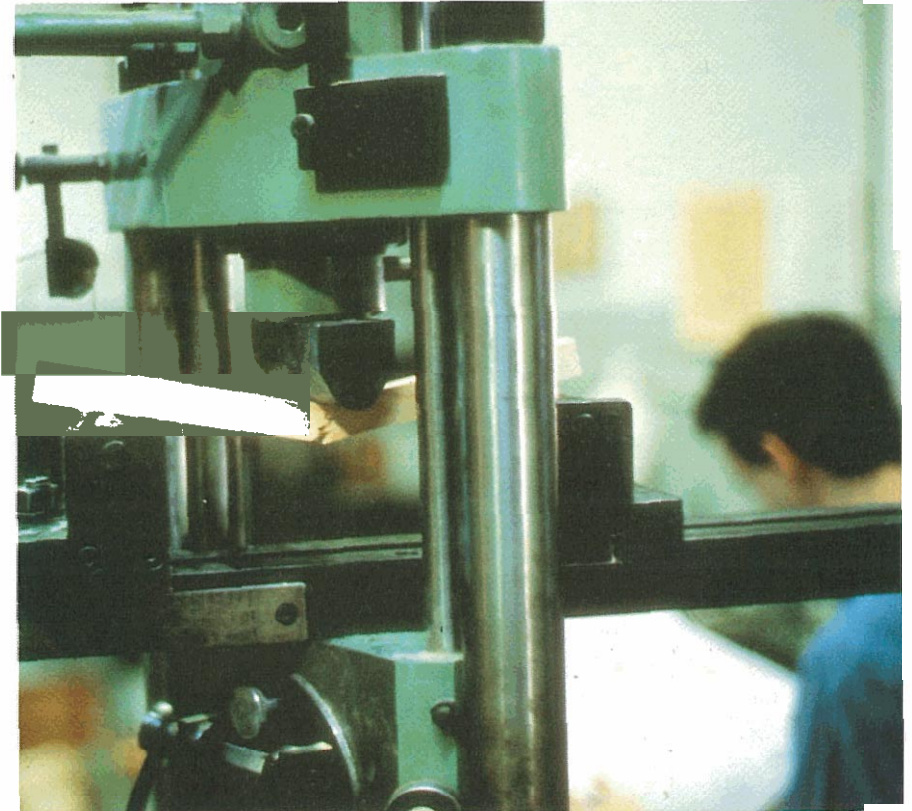
\bar{B} = Valor medio resultante de los ensayos.

V = Coeficiente de variación de la distribución normal.

A continuación se aplican los coeficientes de reducción dependientes del material. Estos son tres, dependientes, respectivamente, de la calidad de la madera, de la duración de las cargas y de la humedad de la madera.

El primero de los coeficientes se halla a partir de una serie de ensayos a rotura realizados sobre piezas de un tamaño suficiente como para que exista analogía entre éstas y las de uso normal en construcción.

En el caso concreto de la madera laminada, experiencias realizadas en USA han mostrado que por calidad y tipo de madera es suficiente una muestra de 15 piezas rectas de longitud de 4 m y altura de canto 20-25 cm con los defectos máximos permitidos en la zona de momento máxima.



Después de determinar el valor correspondiente al intervalo de confianza del 90 por 100 de esta serie de ensayos y por comparación con el valor que se dedujo anteriormente de los ensayos con madera libre de defectos se obtiene el coeficiente de reducción por calidad de la madera

La calidad de la madera de las clases I, II y III este perfectamente definida, en cuanto a sus particularidades y defectos tolerados, en la norma DIN 4074 «Condiciones de calidad para la madera aserrada de coníferas de construcción».

La norma DIN 1052, punto 11.5.2, especifica que para madera laminada de las respectivas calidades se admite que el 70 por 100 central, respecto a la fibra neutra, de las piezas esté constituido por inadera de la clase de calidad inmediatamente inferior.

Los ensayos deben realizarse con madera a un 12 por 100 de humedad de equilibrio higroscópico; por consiguiente, y puesto que aun no estando expuesta directamente a la intemperie el contenido de humedad puede ser considerablemente mayor, es necesario aplicar un coeficiente reductor de 0.90.

Para contrarrestar el efecto beneficiante sobre las tensiones que produce una duración de los ensayos de uno a cinco minutos, y dado que frecuentemente las cargas tienen una mayor duración, se aplica otro coeficiente reductor ajustado a 0,56, el cual es idéntico al utilizado en USA y en Australia. Cargas de corta duración se minoran posteriormente en el dimensionamiento.

Los tres coeficientes reductores citados son dependientes del material madera. Además debe considerarse una nueva reducción que abarque aspectos ajenos al material, como la calidad en la ejecución de la obra, la autenticidad de las cargas supuestas, la exactitud de dimensionamiento y el peligro para las personas y consecuencias económicas en caso de fallo.

Con base en una propuesta de la Institución Inglesa para los Coeficientes de Seguridad de las Estructuras, este coeficiente reductor sería para la madera sólida:

$$\frac{1}{X \cdot Y} = \frac{1}{1.3 \cdot 1.2} = 0.64$$

Coficiente derivado de la siguiente tabla:

Valores X					
B =					
Influencias		a	b	c	d
A = a	C = a	1,1	1,3	1,5	1,7
	C = b	1,2	1,45	1,7	1,95
	C = c	1,3	1,6	1,9	2,2
	C = d	1,4	1,75	2,1	2,45
A = b	C = a	1,3	1,55	1,8	2,05
	C = b	1,45	1,75	2,05	2,35
	C = c	1,6	1,95	2,3	2,65
	C = d	1,75	2,15	2,55	2,95
A = c	C = a	1,5	1,8	2,1	2,4
	C = b	1,7	2,05	2,4	2,75
	C = c	1,9	2,3	2,7	3,1
	C = d	2,1	2,55	3,0	3,45
A = d	C = a	1,7	2,05	2,4	2,75
	C = b	1,95	2,35	2,75	3,15
	C = c	2,2	2,65	3,1	3,55
	C = d	2,45	2,95	3,45	3,95
Valores Y					
D =					
Grupo de daños		u	e	f	
E = e	u	1,0	1,2	1,4	
	e	1,1	1,3	1,5	
	f	1,2	1,4	1,6	

Donde:

X = Coeficiente de seguridad para influencias que conducen al fallo de la estructura.

Y = Coeficiente de seguridad para las consecuencias en caso de fallo.

A = Calidad de la ejecución de la obra.

B = Autenticidad de las cargas supuestas.

C = Exactitud del dimensionamiento.

a = Muy bien.

b = Bien.

c = Suficiente.

d = Mal.

D = Peligro para las personas.

E = Consecuencias económicas.

u = Sin peligro.

e = Serio.

f = Muy serio.

Según se ha visto, para la madera sólida se ha aceptado:

- Calidad de la ejecución de la obra: muy bien.
- Autenticidad de las cargas supuestas: bien.
- Exactitud del dimensionamiento: muy bien.
- Peligro para las personas: serio.
- Consecuencias económicas: sin peligro.

En el caso de la madera laminada este coeficiente es algo más elevado que el de la madera sólida.

De una serie de ensayos a rotura en flexión realizados en el Centro Oficial de Ensayos de Materiales de Construcción sobre vigas de madera laminada de picea, de calidades I y II, según DIN 4074 y DIN 1052, se obtuvieron los siguientes resultados en kg/cm².

	Número de ensayos	Valor Medio	Desviación típica	Coefficiente de variación
Tensión de rotura por flexión, calidad I	25	467	60.5	0.129
Tensión de rotura por flexión, calidad II	25	404	59.4	0.147
Tensión de rotura por esfuerzo cortante, calidades I y II	51	45.7	9.1	0.199

De estos valores se puede deducir una reducción del valor medio, por su propia estimación, respectivamente:

- Tensión de rotura por flexión, calidad I: a = 4 por 100.
- Tensión de rotura por flexión, calidad II: a = 5 por 100.
- Tensión de rotura por esfuerzo cortante, calidades I y II: a = 4,5 por 100.

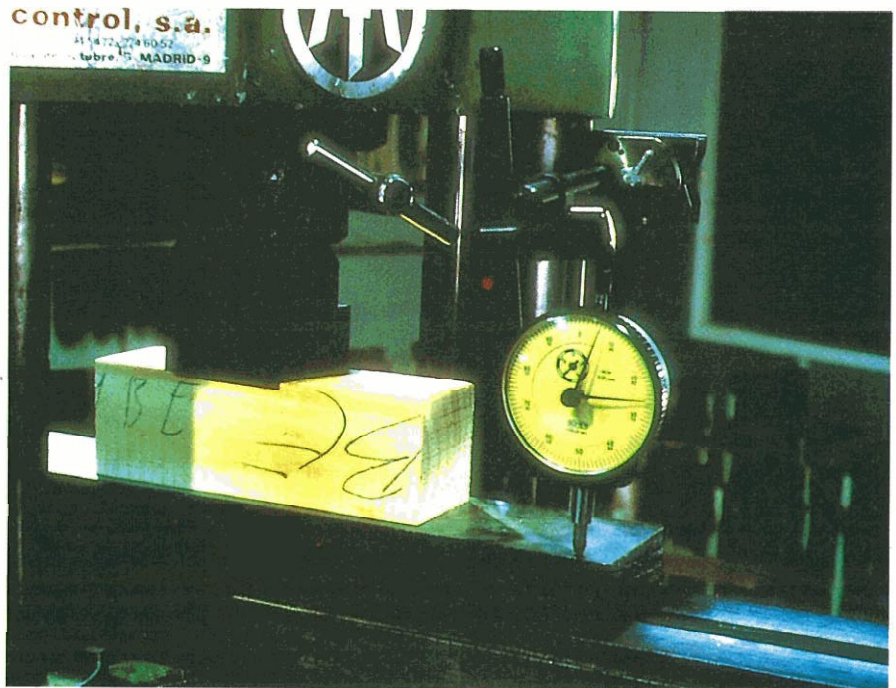
Los valores correspondientes al límite inferior del intervalo de confianza del 90 por 100 son, en kg/cm²:

$$5\% B = \bar{B} (1 - 1.64 \cdot V - 1)$$

	5 % B
Flexión, calidad I	350
Flexión, calidad II	286
Tensión tangencial por esfuerzo cortante, calidades I y II	29

Si ahora tenemos en cuenta las tensiones admisibles para madera laminada que indica la norma DIN 1052 y los respectivos coeficientes de reducción antes señalados, debidos a la humedad de la madera y la duración de las cargas, llegaremos a un coeficiente de reducción por causas ajenas al material madera, respectivamente:

	5 % B	Tensiones admisibles	Coefficiente humedad	Coefficiente duración cargas	Coefficiente reducción ajeno al material madera
Flexión, calidad I	350	140	0.90	0.56	$0.794 = \frac{1}{1.26}$
Flexión, calidad II	286	110	0.90	0.56	$0.763 = \frac{1}{1.310}$
Tens. tang. por esf. cortante	29	12	0.90	0.56	$0.821 = \frac{1}{1.22}$



Estos valores están en consonancia con las condiciones generales que ha de cumplir cualquier elemento estructural de madera y/o sus productos derivados:

Valor medio de una serie de ensayos ≥ 3 veces la tensión admisible.

Limite inferior del intervalo de confianza del 90% de la distribución normal de la serie de ensayos $\geq 2,5$ veces la tensión admisible.

Podríamos deducir, de un modo general, el coeficiente de reducción por causas ajenas al material madera del siguiente modo:

$$\begin{aligned} \text{Coef reducción} &= \frac{1}{2,5} \cdot \frac{1}{0,56} \cdot \frac{1}{0,9} = \\ &= 0,794 = \frac{1}{1,26} \end{aligned}$$

Si comparamos esta coeficiente con el correspondiente antes indicado para la madera sólida, $\frac{1}{1,56} = 0,64$, observamos un importante aumento, justificado éste por la mejor calidad en la ejecución de la obra, mayor exactitud en el dimensionado y sobre todo por la mejor resistencia al fuego de la madera laminada respecto a la sólida, lo cual incide directamente en una menor peligrosidad hacia la personas.

Para terminar, y como ejemplo de aplicación del proceso total a un caso práctico, supongamos que queremos averiguar si la madera laminada de una *wnifera* no estudiada, respecto al dimensionamiento de sus elementos estructurales, está comprendida en la denominación «madera laminada de coníferas» que especifica la norma DIN 1052.

Supongamos que del estudio estadístico de la resistencia en flexión de probetas libres de defectos, derivan un valor medio de 850 kg/cm^2 , con un intervalo de aproximación de este nivel medio del 5%, y un coeficiente de variación del 18%.

$$5\% B = B (1 - 1,64 \cdot V - 0,05) = 850 (1 - 1,64 \cdot 0,18 - 0,05) \text{ kg/cm}^2 = 557 \text{ kg/cm}^2.$$

Supongamos que tras los ensayos de rotura de un cierto número de vigas laminadas de calidad I (DIN 1052 y DIN 1074) se deduce un valor del limite inferior del intervalo de confianza del 90% igual a 446 kg/cm^2 para la flexión estática. Entonces, el coeficiente reductor de tensiones por calidad de la madera sería: $\frac{446}{557} = 0,80$.

Si consideramos el resto de los coeficientes, dependientes e independientes del material, obtenemos como valor final de la tensión:

$$\sigma = 557 \times 0,80 \times 0,90 \times 0,56 \times 0,794 = 178 \text{ kg/cm}^2$$

Este valor obtenido es bastante superior a los 140 kg/cm^2 que indica la norma DIN 1052, con lo que quedaría demostrada para la flexión estática y calidad I, la idoneidad de esa madera.