

# 4

---

## DATOS Y CRITERIOS DE DISEÑO

---

Una consideración principal para el diseño de cualquier estructura de madera es la determinación de los valores de diseño para los esfuerzos admisibles y del módulo de elasticidad que se debe utilizar para cualquier pieza de madera dada. En este capítulo se estudian los factores que intervienen en el establecimiento de estos valores de diseño.

### 4.1 GENERALIDADES

Hay que considerar muchos factores al determinar los esfuerzos unitarios que se deben usar en el diseño de estructuras de madera. Numerosas pruebas han producido valores conocidos como *valores básicos de resistencia de la madera*. Para obtener valores para el trabajo de diseño, los valores básicos de la madera se modifican mediante factores que toman en cuenta la pérdida de resistencia por defectos, el tamaño y la posición de los nudos, dimensiones de los miembros, la densidad de la madera y la condición del curado o valor específico del contenido de humedad de la madera al momento de usarla. Para aplicaciones específicas de diseño, se podrían hacer otras modificaciones para el tipo de cargas y para el uso particular de la estructura.

## 4.2 TABLAS DE VALORES DE DISEÑO

La referencia general para esfuerzos admisibles y valores del módulo de elasticidad que se deben usar en el trabajo de diseño, es la publicación que se prepara como suplemento al NDS titulada *Design Values for Wood Construction*. De esta publicación se adapta la tabla 4.1 (véase páginas 30 y 31), en la que se presentan valores para una especie común de madera estructural: abeto Douglas. Para obtener valores de la tabla deben determinarse los siguientes datos para una pieza particular de madera:

1. *Especie*. La publicación de NDS presenta valores para 26 especies diferentes, de las cuales sólo una se incluye en la tabla 4.1.
2. *Condición de humedad al momento del uso*. La condición de humedad adoptada para los valores de la tabla se da en la tabla con la designación de la especie. Los ajustes para otras condiciones de humedad se explican en las notas de pie de página o en las diversas especificaciones en el NDS.
3. *Clase*. Ésta se indica en la primera columna de la tabla, y se basa en estándares de clasificación visual.
4. *Dimensiones o uso*. La segunda columna de la tabla identifica dimensiones o uso (por ejemplo, vigas y largueros) de la madera. Se hace notar que para el abeto Douglas, la clasificación “estructural selecto” aparece cinco veces para diferentes tamaños y usos.
5. *Función estructural*. Se dan valores para esfuerzos de flexión, tensión, cortante y compresión y para el módulo de elasticidad.

En el documento referido hay muchas notas de pie de página en la tabla. Los datos de la tabla 4.1 se usarán en diversos ejemplos de diseño en este libro y se explicarán algunos de los conceptos tratados en los pies de página del documento. En muchos casos, hay modificaciones de los valores de diseño, tal como se explica en la sección 4.4.

## 4.3 ESFUERZO DE APOYO

Hay varias situaciones en las cuales un miembro de madera puede generar un esfuerzo de apoyo por contacto; en esencia, un esfuerzo superficial de compresión. Algunos ejemplos son los siguientes:

En la base de una columna de madera simplemente apoyada. Éste es el caso de un esfuerzo de apoyo que está en dirección paralela a la veta.

En el extremo de una viga simplemente apoyada. Éste es el caso de un esfuerzo de apoyo que es perpendicular a la veta.

Dentro de una conexión atornillada en la superficie de contacto entre el perno y la madera en el extremo del orificio del tornillo.

En una armadura de madera en la cual se genera una fuerza de compresión por apoyo directo entre los dos miembros. Con frecuencia, éste es un caso en el que se presenta un esfuerzo de apoyo oblicuo a la veta; no paralelo ni perpendicular.

En el caso de las uniones, la condición de apoyo normalmente se incluye en la evaluación general del valor unitario de los elementos conectores. Esto se estudia en el capítulo 11. Las dos dimensiones críticas que definen el área de contacto del apoyo (el diámetro del perno y el espesor del miembro) se incluyen en los datos para determinar los valores del perno.

Los valores de esfuerzo límite para apoyo directo se basan solamente en la especie de la madera y en su densidad relativa. Por lo común, se da un solo valor para clases densas y otro valor único para otras clases (ordinarias o no densas). En la tabla 4.1 se da el valor para compresión perpendicular a la veta (por ejemplo, en los extremos de las vigas). El valor para el esfuerzo de apoyo paralelo a la veta, tomado de una tabla distinta en el NDS, denominado  $F_{\parallel}$ , para el abeto Douglas, es el siguiente:

Para todas las clases densas: 1 730 lb/pulg<sup>2</sup>  
 Para otras clases: 1 480 lb/pulg<sup>2</sup>

La situación de esfuerzo oblicuo a la veta se estudia en la sección 4.5. Consiste en encontrar un valor promedio que se encuentra entre los valores admisibles para las dos condiciones límite de esfuerzo.

#### 4.4 MODIFICACIONES DE LOS VALORES DE DISEÑO

Los valores dados en la tabla 4.1 son referencias básicas para establecer los valores admisibles que se deben usar en el diseño. Estos valores se basan en algunas normas definidas; en muchas situaciones, los valores de diseño se modificarán para tener los de uso real en cálculos estructurales. En algunos casos, la forma de la modificación es un aumento o disminución simple que se obtiene por un porcentaje de aumento o por un factor de reducción. En otros casos, la modificación es más compleja, como la modificación de la compresión admisible para efectos de esbeltez. Algunas de las modificaciones se explican en los pies de página de la tabla de la cual se adapta la tabla 4.1. Otras modificaciones se describen en el capítulo 3 o en las diferentes secciones del NDS que tratan de los tipos específicos de problemas. Algunos de los tipos principales de modificaciones se enlistan en la página 32.

**TABLA 4.1 Valores de diseño para madera estructural clasificada visualmente de abeto Douglas (valores en lb/pulg<sup>2</sup>)**

Especie y clase comercial	Dimensiones y clasificación por uso	Fibra extrema sometida a flexión $F_b$		Tensión paralela a la veta $F_t$	Esfuerzo cortante horizontal $F_v$	Compresión perpendicular a la veta $F_{c\perp}$	Compresión paralela a la veta $F_c$	Módulo de elasticidad $E$
		Usos de miembros individuales	Usos de miembros repetitivos					
<i>MADERA ASERRADA</i>	2 a 4 pulg grueso, 2 pulg y más ancho	(Humedad no mayor a 19%)						
Estructural selecta		1450	1668	1000	95	625	1700	1,900,000
No. 1 y mejor		1150	1323	775	95	625	1500	1,500,000
No. 1		1000	1150	675	95	625	1450	1,700,000
No. 2		875	1006	575	95	625	1300	1,600,000
No. 3		500	575	325	95	625	750	1,400,000
Pie derecho		675	776	450	95	625	525	1,400,000
Construcción		1000	1150	650	95	625	1600	1,500,000
Estándar		550	663	375	95	625	1350	1,400,000
Uso general		275	316	175	95	625	575	1,300,000

<i>MADERA (Verde, cepillada)</i>								
Estructural densa, selecta	Vigas y	1900	–	1100	85	730	1300	1,700,000
Estructural selecta	largueros	1600	–	950	85	625	1100	1,600,000
Densa No.1		1550	–	775	85	730	1100	1,700,000
No. 1		1300	–	675	85	625	925	1,600,000
No. 2		875	–	425	85	625	600	1,300,000
Estructural densa, selecta	Postes y	1750	–	1150	85	730	1350	1,700,000
Estructural selecta	elementos	1500	–	1000	85	625	1150	1,600,000
Densa No. 1	estructurales	1400	–	950	85	730	1200	1,700,000
No. 1		1200	–	525	85	625	1000	1,600,000
No. 2		750	–	475	85	625	700	1,300,000

*CUBIERTA (Humedad no mayor al 19%)*

Dex selecta	Cubierta	1750	2013	–	–	625	–	1,500,000
Dex comercial		1450	1668	–	–	625	–	1,700,000

*Fuente:* Datos adaptados de *National Design Specification for Wood Construction*, edición de 1991 (Referencia 1), con permiso de los editores, *National Forest Products Association*. En la tabla del documento de referencia se listan otras especies de madera y tiene extensas notas de pie de página.

\*Los valores listados son para carga de duración normal con madera pulida seca o verde y usada con un contenido de humedad máximo de 19%.



**Humedad.** En la tabla se da la condición supuesta de humedad en la cual se basan los valores de la tabla misma. Pueden permitirse incrementos en algunos valores para madera que ha sido curada y tiene un valor de humedad menor. Si está expuesta a la intemperie, una condición de uso en situaciones de humedad podría requerir algunas reducciones de valores.

**Duración de la carga.** Los valores de la tabla se basan en la llamada carga de duración normal, la cual en realidad no tiene mucho sentido. Se permiten incrementos en los valores de diseño para diferentes grados de carga de duración corta. Podría requerirse reducir algunos valores si la carga se prolonga durante la vida de la estructura (básicamente en referencia a la carga muerta). En la tabla 4.2 se presenta un resumen de las condiciones de NDS para el ajuste de la duración de la carga.

**Temperatura.** Cuando exista una exposición prolongada a temperaturas mayores que 150°F, se deben reducir algunos valores.

**Tratamientos.** La impregnación con productos químicos para lograr una resistencia mejorada a la pudrición, las sabandijas y los insectos, o el fuego podría requerir reducciones en algunos valores.

**Dimensiones.** La efectividad en la flexión se reduce en vigas con peraltes mayores que 12 pulgadas, como se explica en la sección 7.9.

**Pandeo.** Pueden requerirse diversas modificaciones para vigas o columnas con tendencia a fallar por pandeo.

**Orientación de la carga con respecto a la veta.** La tabla da valores separados para la compresión admisible con respecto a la dirección de la veta en la madera. En algunas situaciones, pudiera ser que la dirección de la carga no fuera paralela (0°) ni perpendicular (90°) a la veta y se deba calcular un valor específico para el esfuerzo, como se explica en la sección 4.5.

**TABLA 4.2 Modificación de valores de diseño con respecto a la duración de la carga<sup>a</sup>**

Duración de la carga y uso general	Factor $C_D$ ; multiplicar por los valores de diseño
Permanente: carga muerta	0.9
Diez años: carga viva producida por los ocupantes	1.0
Dos meses: carga de nieve	1.15
Siete días: carga de construcción (usada para techos donde no hay nieve)	1.25
Diez minutos: viento y sismos	1.6
Impacto: choques de llantas, frenado de equipo en movimiento, portazo con puertas pesadas <sup>b</sup>	2.0

<sup>a</sup>Adaptado del NDS, edición de 1991 (Referencia 1), con permiso de los editores, *National Forest Products Association*.

<sup>b</sup>No debe usarse para uniones o para ciertos miembros tratados a presión.

Deben estudiarse cuidadosamente las condiciones específicas de uso para evaluar las modificaciones requeridas para una situación dada de diseño.

### 4.5 MODIFICACIONES PARA LA CARGA EN RELACIÓN CON LA DIRECCIÓN DE LA VETA

Para la condición mostrada en la figura 4.1, la carga del miembro B ejerce un esfuerzo de compresión sobre el miembro A, en una superficie inclinada con respecto a la veta. La resistencia a la compresión de la madera es máxima paralela a la veta y mínima perpendicular a la veta. El esfuerzo unitario de compresión admisible en una superficie inclinada se determina a partir de la expresión siguiente, que se conoce como la fórmula de Hankinson:

$$F_n = \frac{F_g \times F_{c\perp}}{F_g \times \sin^2\theta + F_{c\perp} \times \cos^2\theta}$$

- en la que  $F_n$  = esfuerzo unitario admisible, perpendicular a la superficie inclinada,
- $F_g$  = esfuerzo unitario admisible de apoyo, paralelo a la veta,
- $F_{c\perp}$  = esfuerzo unitario admisible de compresión, perpendicular a la veta,
- $\theta$  = ángulo entre la dirección de la carga y la dirección de la veta.

Cuando se aplica la carga paralela a la veta,  $\theta$  es cero. Cuando se aplica la carga perpendicular a la veta,  $\theta$  es 90°. En la tabla 4.3 se dan valores de  $\sin^2 \theta$  y  $\cos^2 \theta$  para diferentes valores de  $\theta$  (teta).

**Ejemplo.** Dos piezas de madera de 6 pulgadas de ancho, consistentes de abeto Douglas, de clase densa, se unen entre sí como se indica en la figura 4.1. El ángulo entre las dos piezas es de 30°. Calcule el esfuerzo unitario admisible en la superficie de apoyo inclinada.

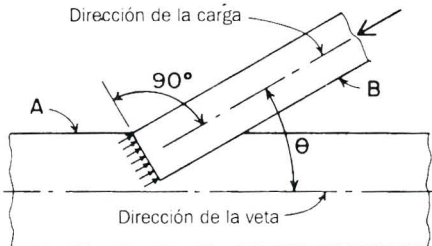


Figura 4.1 Generación de esfuerzo oblicuo a la veta en miembros de madera.

**TABLA 4.3 Valores para ser usados en la fórmula de Hankinson (véase figura 4.1)**

$\text{sen}^2\theta$	$\theta$ (grados)	$\text{cos}^2\theta$	$\text{sen}^2\theta$	$\theta$ (grados)	$\text{cos}^2\theta$
0.00000	0	1.00000	0.50000	45	0.50000
0.00760	5	0.99240	0.58682	50	0.41318
0.03015	10	0.96985	0.67101	55	0.32899
0.06698	15	0.93302	0.75000	60	0.25000
0.11698	20	0.88302	0.82140	65	0.17860
0.17860	25	0.82140	0.88302	70	0.11698
0.25000	30	0.75000	0.93302	75	0.06698
0.32899	35	0.67101	0.96985	80	0.03015
0.41318	40	0.58682	0.99240	85	0.00760
0.50000	45	0.50000	1.00000	90	0.00000

*Solución:* al consultar la sección 4.3, se observa que el esfuerzo unitario de compresión admisible paralelo a la veta es  $F_g = 1\,730$  lb/pulg<sup>2</sup>, y perpendicular a la veta,  $F_{c\perp} = 730$  lb/pulg<sup>2</sup>. Los valores de  $\text{sen}^2\theta$  y  $\text{cos}^2\theta$ , para  $\theta = 30^\circ$ , se toman de la tabla 4.3. Luego, al sustituir en la fórmula de Hankinson, el esfuerzo unitario de compresión admisible en la superficie inclinada es

$$F_n = \frac{1730 \times 730}{(1730 \times 0.25) + (730 \times 0.75)} = 1289 \text{ lb / pulg}^2$$

Se requiere una modificación similar con el uso de algunos elementos de sujeción, como pernos y conectores de anillo partido. Para no hacer los cálculos aquí ilustrados, las funciones de la fórmula de Hankinson se registran en forma gráfica y se pueden hacer modificaciones necesarias de forma aproximada a partir de la gráfica. El uso de este método se ilustra en la sección 11.1.

### Problema 4.4.A.

Dos piezas de madera de abeto Douglas de clase común se unen entre sí como se indica en la figura 4.1. El ángulo comprendido entre los dos miembros es de  $45^\circ$ . Determine el esfuerzo unitario de compresión admisible en la superficie de contacto inclinada.