

Manual de Maderas

Gustavo Jaramillo Botero
Ingeniero civil
Especialista en estructuras

Edición de prueba
Actualizada con la NSR-10

Capítulo 1

Diseño simplificado de la madera

1.1 Introducción.

El diseño de los elementos de madera se realiza utilizando el **método de esfuerzos de trabajo**, para este diseño se acepta la hipótesis del material elástico y homogéneo.

1.2 Diseño por flexión y por cortante.

El diseño de una viga de madera, consiste en determinar la capacidad de carga, o el tamaño de la sección de una viga que tenga limitados, al mismo tiempo, sus esfuerzos por flexión y por cortante.

En vigas cortas, las dimensiones vienen dadas por el esfuerzo cortante, mientras que en vigas largas es el esfuerzo de flexión el que limita la carga o determina las dimensiones de la sección.

Para el diseño se utilizan las combinaciones de cargas de servicio, cumpliendo con las deflexiones estipuladas en el capítulo G.3.2 de la NSR-10

La combinación básica para el diseño de una viga por éste método, es la siguiente:

$$W = D + L$$

En donde:

W= carga de servicio

D= carga muerta

L= carga viva

Para el diseño final se debe tener en cuenta las deflexiones causadas a la viga, estipuladas en el título G de la NSR-10.

Toda construcción de madera debe poseer un sistema estructural que se ajuste a uno de los siguientes tipos definidos en el título A de la NSR-10.

- a) Sistema de muros de carga.
- b) Sistema combinado.
- c) Sistema de pórtico.
- d) Sistema dual.

1.3 Clasificación estructural de la madera.

De acuerdo con los módulos de elasticidad y su capacidad de resistencia medida en sus esfuerzos admisibles de flexión, tensión, compresión y cortante, la madera estructural se clasifica en alguno de los siguientes grupos:

ES1, ES2, ES3, ES4, ES5 y ES6.

1.4 Esfuerzos admisibles en la madera.

La madera colombiana usada en construcción, se clasifica de acuerdo a su dureza y resistencia. La madera con mayor resistencia se clasifica en el grupo ES1, le sigue la madera con resistencia media, clasificada en el grupo ES2 y así continua hasta la de menor resistencia clasificada en el grupo ES6.

La madera para ser clasificada en alguno de los grupos ES (Estructural Selecta) debe cumplir previamente las normas de clasificación visual

En la siguiente tabla se muestra los esfuerzos admisibles de la madera, de acuerdo al grupo estructural.

Tabla 1.1 Esfuerzos admisibles de la madera (MPa)

GRUPO	F _b Flexión	F _t Tensión	F _c Compresión paralela	F _p Compresión perpendicular	F _v Cortante
ES1	29,5	21,0	23,0	6,0	2,0
ES2	28,5	20,0	22,0	4,3	2,0
ES3	23,0	17,0	19,0	3,8	1,6
ES4	17,0	12,0	15,0	2,8	1,5
ES5	15,0	11,0	13,0	2,0	1,1
ES6	12,5	9,0	10,0	1,5	1,3

Para el diseño de la Madera, el factor de seguridad ya está incluido en los valores de la tabla 9.1.

1.5 Deflexiones en vigas de madera.

Para el diseño definitivo de una viga de madera, se debe comparar las deflexiones causadas por la carga, con las deflexiones admisibles. Las deflexiones admisibles en la madera, recomendadas por la NSR-10 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Deflexiones admisibles en vigas de madera

Tipo de construcción	Cargas vivas	Viento o granizo	Cargas totales
Elementos de techo o cubierta			
Cubiertas inclinadas	Nota 1	Nota 1	Nota 1
- Cieloraso de pañete o yeso	$d = L/360$	$d = L/360$	$d = L/300$
- Otros cielorastos	$d = L/300$	$d = L/240$	$d = L/240$
- Sin cieloraso	$d = L/300$	$d = L/240$	$d = L/240$
- Techos Planos	Nota 1	Nota 1	$d = L=300$
Elementos de entrepiso	$d=L/360$	-----	$d = L/300$
Pisos rigidizados	-----	-----	$d = L/360$
Muros exteriores y particiones interiores			
- Con acabados frágiles	-----	$d = L/240$	-----
- Con acabados flexibles	-----	$d = L/240$	-----
Edificaciones industriales	-----		$d = L/200$
Edificaciones provisionales	-----		$d = L/160$
Formaletas para concreto	-----		$d = L/360$
Forros para columnas – vigas	-----		$d = L/360$

Nota 1: En función del tipo de cieloraso.

Para calcular las deflexiones causadas en las vigas, viguetas y entablados se calcularán con el módulo de elasticidad $E_{0.5}$ para todos los casos. Para el caso de severas condiciones de servicio o riesgo muy alto, se debe utilizar el módulo de elasticidad $E_{0.05}$.

En la siguiente tabla se muestra el módulo de elasticidad de la madera colombiana, de acuerdo al grupo estructural.

Tabla 1.3 Módulo de elasticidad de la madera (MPa)

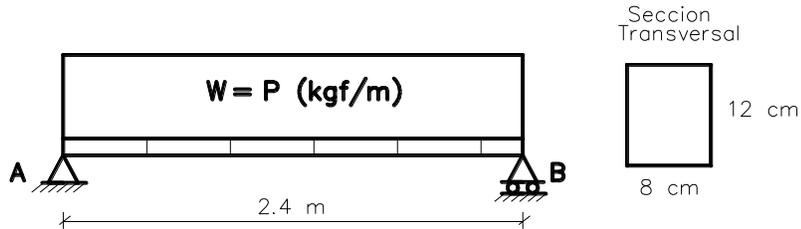
GRUPO	Módulo promedio $E_{0.5}$	Módulo 5º percentil $E_{0.05}$	Módulo mínimo $E_{mín}$
ES1	18.000	13.250	7.130
ES2	18.000	13.250	7.130
ES3	14.000	11.000	5.500
ES4	12.500	10.000	5.000
ES5	11.200	8.250	4.435
ES6	9.000	6.500	3564

La NSR-10 recomienda usar los siguientes parámetros para el diseño de la madera:

- a) Para el análisis y diseño de la madera se debe utilizar el módulo de elasticidad promedio ($E_{0.5}$)
- b) Para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas (CL) y de columnas (CP), se debe utilizar el módulo de elasticidad mínimo ($E_{mín}$).
- c) Para calcular las deflexiones cuando las condiciones de servicio sean de alto riesgo o críticas, se debe utilizar el módulo de elasticidad 5º percentil.

Ejemplo 1.1

Una viga de madera chanul de un entrepiso, soporta una carga distribuida, según se indica en la figura. Calcular el valor máximo de la carga P , que puede soportar la viga. Hacer el chequeo por deflexiones.

**Solución:**

El momento máximo positivo se encuentra con las formulas para vigas del capítulo 5.

Para una viga simplemente apoyada el momento es:

$$M = \frac{w L^2}{8} = \frac{P * (2,4)^2}{8} \Rightarrow \mathbf{M = 0,72 P}$$

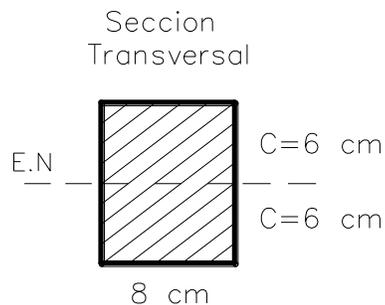
La fuerza cortante máxima es:

$$V = \frac{P * L}{2} = \frac{P * 2,4}{2} \Rightarrow \mathbf{V = 1.2 P}$$

La resistencia de la madera Chanul, se encuentra en la tabla G.B.3 de la NSR-10

El esfuerzo admisible por flexión para la madera chanul es de $24,4 \text{ MPa}$ (244 kgf/cm^2) y el esfuerzo admisible para corte es de $1,8 \text{ MPa}$ (18 kgf/cm^2). El modulo de elasticidad ($E_{0.5}$) es de 18.300 MPa .

El eje neutro se localiza en el centroide de la sección.



El momento de inercia es:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{8 \cdot 12^3}{12} = 1152 \text{ cm}^4$$

El esfuerzo de flexión se calcula con la formula:

$$r = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$244 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{0.72 P (100 \text{ cm}) (6 \text{ cm})}{1152 \text{ cm}^4}$$

$$281.088 = 432 P \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P = 650,66}$$

El esfuerzo cortante se calcula con la formula:

$$T = \frac{3 V}{2 A}$$

$$18 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{3 (1.2 P)}{2 (8 \times 12)} \quad \Rightarrow \quad 3.456 = 3.6 P \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P = 960}$$

La carga máxima que se le puede colocar a la viga es la menor de los dos valores, es decir,

$$\mathbf{W = 650 \text{ kgf/m}}$$

Chequeo de deflexiones: La deflexión admisible es:

$$d = \frac{L}{300} = \frac{240}{300} = 0,80 \text{ cm}$$

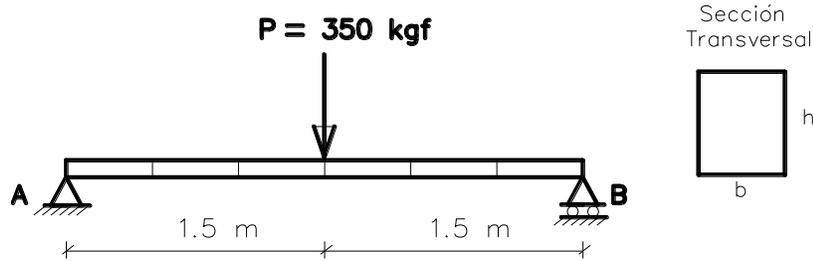
La deflexión causada en la viga se calcula con la fórmula:

$$d = \frac{5 w L^4}{384 E I} = \frac{5 (6,50 \text{ kgf/cm})(240 \text{ cm})^4}{384 (183000 \text{ kgf/cm}^2)(1152 \text{ cm}^4)} = 1,33 \text{ cm} > 0,80 \text{ cm}$$

La deflexión causada es mayor que la admisible, por lo tanto, se debe ampliar la sección transversal para soportar la carga máxima.

Ejemplo 1.2

Una viga de madera abarco de un entrepiso, soporta una carga concentrada de 350 kgf, según se indica en la figura. Calcular la sección transversal necesaria, si la base es igual a la altura. Hacer el chequeo por deflexiones.

**Solución:**

El momento máximo positivo se encuentra con las formulas para vigas del capítulo 5:

El momento máximo positivo es:

$$M = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{350 \cdot 3,0}{4} \Rightarrow M = 282,5 \text{ kgf-m}$$

La fuerza cortante máxima es:

$$V = \frac{P}{2} = \frac{350 \text{ kgf}}{2} \Rightarrow V = 175 \text{ kgf .}$$

La resistencia de la madera abarco, se encuentra en la tabla G.B.4.

El esfuerzo admisible por flexión es de 17,1 MPa (171 kgf/cm²), y el esfuerzo admisible para corte es de 1,9 MPa (19 kgf/cm²). E_{0.5} = 13.200 MPa

El eje neutro se localiza en el centroide de la sección.

El momento de inercia es:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{b \cdot b^3}{12} = 0.0833 \Rightarrow \text{(sección cuadrada: } b=h)$$

El esfuerzo de flexión se calcula con la formula:

$$r = \frac{M \cdot c}{I}$$

$$171 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{262.5 \text{ kgf-m (100 cm)} (b/2 \text{ cm})}{0.0833 b^4 \text{ cm}^4}$$

$$14,2 b^4 = 13125 b \Rightarrow 14,2 b^3 = 13125 \Rightarrow b^3 = 13125 / 14,2$$

$$b^3 = 924,29 \Rightarrow \mathbf{b = 9.74 \text{ cm}} \Rightarrow \mathbf{h = 9,74 \text{ cm}}$$

El esfuerzo cortante se calcula con la formula:

$$T = \frac{3 V}{2 A}$$

$$19 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{3 (175 \text{ kgf})}{2 (b \cdot h)} \Rightarrow 38 b \cdot h = 525$$

$$\mathbf{b \cdot h = 13,81 \text{ cm}^2} \Rightarrow \text{Si } b = 4 \text{ cm, } h = 4 \text{ cm}$$

La sección necesaria es la mayor de las dos: **b = 10 cm, h = 10 cm.**

Chequeo de deflexiones:

La deflexión admisible es:

$$d = \frac{L}{300} = \frac{300 \text{ cm}}{300} \Rightarrow \mathbf{d = 1,00 \text{ cm}} \text{ (deflexión admisible)}$$

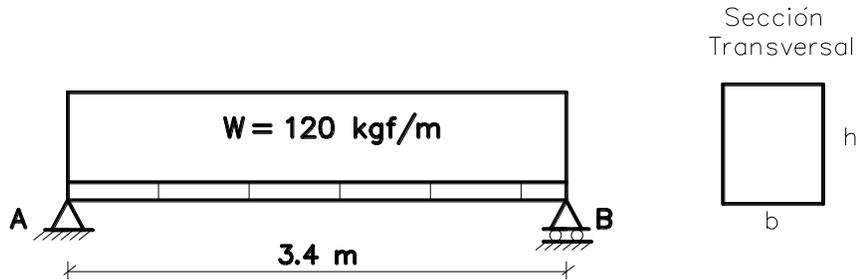
La deflexión causada en la viga se calcula con la fórmula:

$$d = \frac{P L^3}{48 E I} = \frac{(350 \text{ kgf}) \cdot (300 \text{ cm})^3}{48 (132.000 \text{ kgf/cm}^2) (833 \text{ cm}^4)} = \mathbf{1.79 \text{ cm}} \text{ (deflexión causada)}$$

La deflexión causada es mayor que la admisible, por lo tanto, se debe ampliar la sección transversal para soportar la carga concentrada.

EJERCICIOS PROPUESTOS

1.1 Una viga de madera Chanul de un entrepiso, soporta una carga distribuida de 120 kgf/m. Calcular la sección transversal necesaria para soportar este peso. Hacer el chequeo de las deflexiones. La sección transversal debe ser cuadrada.



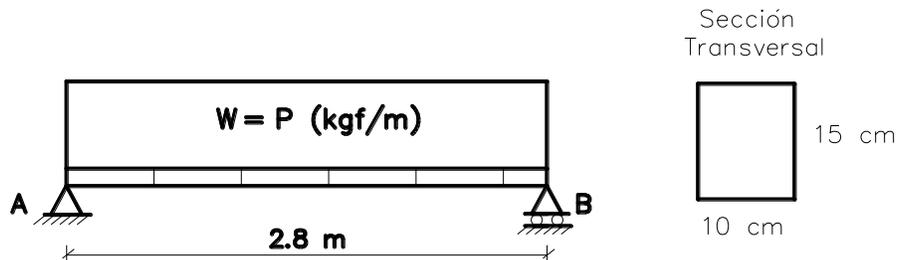
Respuesta:

$b = 7,53 \text{ cm}$, $h = 7,53 \text{ cm}$ (por flexion)

$b = 4,12 \text{ cm}$, $h = 4,12 \text{ cm}$ (por cortante)

$b = 10,46 \text{ cm}$, $h = 10,46 \text{ cm}$ (por deflexiones)

1.2 Una viga de madera Chanul de un entrepiso, soporta una carga distribuida, según se indica en la figura. Calcular el valor máximo de la carga P , que puede soportar la viga. Hacer el chequeo por deflexiones.



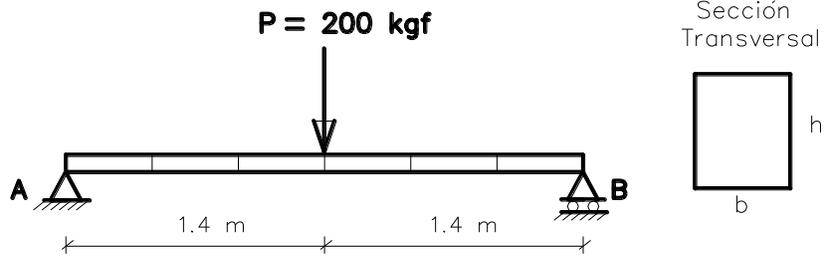
Respuesta:

$w = 933 \text{ kgf/m}$ (por flexion)

$w = 1285 \text{ kgf/m}$ (por cortante)

$w = 600 \text{ kgf/m}$ (por deflexiones)

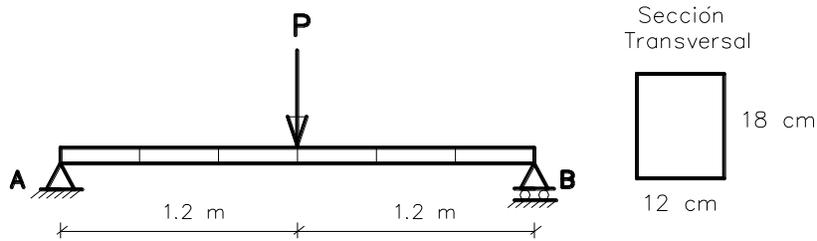
1.3 Una viga de madera Chanul de un entrespaño, soporta una carga concentrada de 200 kgf. Calcular la sección transversal necesaria para soportar este peso. Hacer el chequeo de las deflexiones. La sección transversal debe ser cuadrada.



Respuesta:

- $b = 7,00 \text{ cm}$, $h = 7,00 \text{ cm}$ (por flexion)
- $b = 8,33 \text{ cm}$, $h = 8,33 \text{ cm}$ (por cortante)
- $b = 9,00 \text{ cm}$, $h = 9,00 \text{ cm}$ (por deflexiones)

1.4 Una viga de madera Abarco soporta una carga concentrada, según se indica en la figura. Calcular el valor máximo de la carga P , que puede soportar la viga. Hacer el chequeo de las deflexiones.



Respuesta:

- $P = 1.846 \text{ kgf}$ (por flexion)
- $P = 5.472 \text{ kgf}$ (por cortante)
- $P = 2.100 \text{ kgf}$ (por deflexiones)

Bibliografía

BEER y JOHNSTON. Mecánica para ingenieros. Estática. Mac Graw-Hill. 3 Edición.

NASH, William. Resistencia de materiales. Mc Graw-Hill. 1992

NILSON, Arhur H. Diseño de estructuras de concreto. 12 edicion. Mc Graw Hill. 1999

Norma Sismoresistente del 2010 (NSR-10)

SINGER, Ferdinand. Resistencia de materiales. 1997.