

# Procedimiento para el diseño de columnas de madera

Federico Picado \*

## RESUMEN

*Se presenta y ejemplifica el procedimiento para el diseño de columnas de madera.*

*Además se suministran los valores de diseño para esfuerzo en compresión paralela y módulo de elasticidad para nueve especies maderables de Costa Rica.*

## INTRODUCCION

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera la presentan como uno de los materiales más importantes en la industria de la construcción.

Los altos costos que han alcanzado otros materiales de construcción, han contribuido a aumentar el uso de la madera como material estructural.

Los procedimientos que se presentan en este trabajo son aplicables a elementos sujetos a compresión axial, de sección transversal sólida y de sección no rectangular.

## NOMENCLATURA

L: longitud efectiva de la columna.

U: factor de rigidez del empotramiento de vínculo de la columna. Para un extremo empotrado se considera  $U = 1$ , para ambos extremos empotrados,  $U = 4$ .

$C_{ce}$  = factor de esbeltez de columnas.

d = dimensión menor de la sección

$F'_c$  = esfuerzo de diseño permisible en columnas reducido por esbeltez, (kg/cm<sup>2</sup>).

$C_k$  = límite entre columna corta e intermedia.

$F_c$  = esfuerzo de diseño permisible en compresión, para columna corta (kg/cm<sup>2</sup>).

E = módulo de elasticidad de la madera, (kg/cm<sup>2</sup>).

R = radio de giro de la sección transversal (cm).

I = momento de inercia de la sección transversal (cm<sup>4</sup>).

A = área de la sección transversal.

## COLUMNAS SOLIDAS

La gran mayoría de las columnas de madera son de sección sólida y rectangular.

Este tipo de columnas se clasifican en: cortas, intermedias y largas; dependiendo de un factor o razón de esbeltez en columnas calculado por:

$$C_{ce} = L/d$$

### a) Columna corta

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea menor que 11 se calculará la carga axial máxima con el esfuerzo permisible total (FC).

$$F'_c = FC$$

### b) Columna intermedia

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea menor que 11 pero inferior a  $C_k$  donde

\*Coordinador del Centro de Investigación de Ingeniería en Maderas.

$$C_k = 0,671 \sqrt{U \times E / F_c},$$

el esfuerzo permisible en compresión se calculará según:

$$F'_c = F_c (1 - (C_{cc}/C_k)^4 / 3)$$

### c) Columnas largas

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea mayor que  $C_k$ , pero inferior a 50, el esfuerzo permisible en compresión se calculará según:

$$F'_c = 0,3 \times E / (C_e)^2$$

El factor de esbeltez máximo recomendado es:

$$C_{e_{max}} = 50 \sqrt{U}$$

## COLUMNAS CON SECCION NO RECTANGULAR

Se clasifican en columnas cortas, intermedias y largas, de acuerdo con el factor de esbeltez  $L/r$ , donde:

$$R = \sqrt{I/A}$$

### a) Columnas cortas

Para columnas cuyo factor de esbeltez  $L/r$  sea menor que 38, el esfuerzo permisible será:

$$F'_c = F_c$$

### b) Columnas intermedias

Para columnas cuyo factor de esbeltez  $L/r$  sea mayor que 38 pero inferior a  $C_{Rr}$ , donde:

$$C_{Rr} = 2,32 \sqrt{U \times E / F_c},$$

el valor de esfuerzo permisible será:

$$F'_c = F_c (1 - (L/r / C_{Rr})^4 / 3)$$

### c) Columnas largas

Para columnas cuyo factor de esbeltez sea mayor de  $C_{Rr}$  pero inferior a  $173 \sqrt{U}$ , el valor permisible se calculará como:

$$F'_c = 3,619 U \times E / (L/r)^2$$

el factor de esbeltez máximo es:

$$C_{Rr} = 173 \sqrt{U}$$

El cuadro N° 1 presenta los esfuerzos admisibles en compresión paralela al grano y módulo de elasticidad para nueve especies maderables de Costa Rica, basados en las normas de clasificación de madera para uso estructural, desarrollados por Tuk J. (3).

CUADRO N° 1. Propiedades de resistencia y elasticidad de nueve especies de maderas costarricenses

ESPECIE	GRADO	$F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E \times 1000$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Botarramas (Vochyseia ferruginea)	1	52	61
	2	40	73
	3	30	65
Gavilán (Pentaclethra macroloba)	1	88,2	110
	2	67,8	99
	3	51,1	88
Jaúl (Alnus acuminata)	1	44,9	115
	2	34,5	104
	3	26,0	92
Laurel (Cordia alliodora)	1	54,8	93
	2	42,1	83,9
	3	31,8	74,5
Pilón (Hieronyma alcheornoides)	1	77,3	108
	2	59,4	97
	3	44,8	86,5
Lagarto (Zantoxylum belicense)	1	94,9	166
	2	72,9	149
	3	55,0	133
Jacaranda (Jacaranda copaia)	1	53,5	125
	2	41,0	111
	3	31,0	99
Jícaro (Lecythis costarricensis)	1	127,5	224
	2	97,9	202
	3	73,1	179
Manga larga (Laetia procera)	1	132,4	181
	2	101,7	163
	3	76,8	144

### Ejemplo de cálculo con columna de sección sólida

Se expondrá el cálculo para el diseño de una columna de madera en Jaúl (*Alnus acuminata*) en grado 1, con una longitud efectiva de 250 cm., para resistir una carga axial (P) de 500 kg y empotrada en ambos extremos.

Valores de diseño para Jaúl – Grado 1:

$$F_c = 44,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 115000 \text{ kg/cm}^2$$

Se asumen una sección de 7,5 cm. x 7,5 cm.

Cálculo del factor  $C_{ce}$  de esbeltez:

$$C_{ce} = 250 / 7,5 = 33,3$$

Para determinar el tipo de columna se debe calcular el factor  $C_k$

$$C_k = 0,671 \times \sqrt{\frac{4 \times 115000}{44,9}}$$

$$C_k = 67,9$$

Luego:

$$11 < 33,3 < 67,9$$

Por lo tanto clasifica como columna intermedia. El esfuerzo permisible en compresión será:

$$F'_c = 44,9 \times (1 - (33,3/67,9)^4/3)$$

$$F'_c = 44,03 \text{ kg/cm}^2$$

Por las condiciones de carga de la columna, el esfuerzo axial (FA) será:

$$FA = 500 / 7,5 \times 7,5 = 8,88 \text{ kg/cm}^2$$

Por comparación de esfuerzos se tiene que:

$$FA < F'_c$$

### Ejemplo de cálculo de columna con sección no rectangular

Se desea diseñar una columna con sección no rectangular en Pilón—Grado 3 con una longitud efectiva de 300 cm y capaz de resistir una carga axial de 800 kg. Se asume empotrada en un extremo.

Valores de diseño para Pilón—grado 3:

$$F_c = 44,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 86,500 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma una sección compuesta de dos piezas de 3 cm x 10 cm, separadas 6 cm, como se muestra en la figura N° 1.

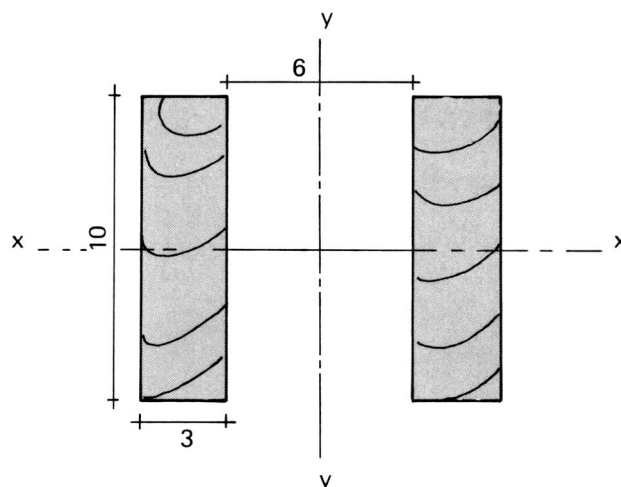


FIGURA N° 1. Sección de columna no rectangular

Cálculo de momento de inercia en eje xx

$$I_{xx} = 2 \times \left[ \frac{3 \times 10^3}{12} \right] = 500 \text{ cm}^4$$

Cálculo de momento de inercia en eje yy

$$I_{yy} = 2 \times \left[ \frac{10 \times 3^3}{12} + 3 \times 10 \times 4,5^2 \right] = 1260 \text{ cm}^4$$

$$A = 2 \times 3 \times 10 = 60 \text{ cm}^2$$

Cálculo de radio de giro de la sección

$$R = \sqrt{1260/60} = 4,58$$

El factor de esbeltez  $L/r$  sería:

$$L/r = 300/4,58$$

$$L/r = 65,5$$

Para determinar el tipo de columna se debe calcular el factor  $C_{rr}$

$$C_{rr} = 2,32 \times \sqrt{\frac{1 \times 86,500}{44,8}}$$

$$C_{rr} = 101,94$$

$$\text{Luego: } 38 < 65,5 < 101,94$$

Por lo tanto clasifica como columna intermedia. El esfuerzo permisible será:

$$F'_c = 44,8 \times (1 - (65,5/101,94)^4 \times 3) =$$

$$F'_c = 42,25 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo axial de la columna (FA) es:

$$FA = 800/60 = 13,3 \text{ kg/cm}^2$$

Comparando esfuerzos se tiene:

$$FA < F'_c.$$

#### LITERATURA CONSULTADA

1. Hoyle, Robert S. Jr. **Wood technology in the design of structures**. Montana: Mountain Press, 1978.
2. Tuk, J. **Normas recomendadas para el diseño con madera estructural**. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigación de Ingeniería en Maderas, 1980.
3. Tuk, J. **Informe general del proyecto: clasificación y normalización de maderas para uso estructural**. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigación de Ingeniería en Maderas, 1980.
4. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Construcción. **Diseño estructural**. Bogotá: JUNAC, 1981.

