



VIGA DE MADERA ARMADA

- Uniones clavadas
- Uniones encoladas

Preparó:

Ing. Daniel A. García Gei

Revisó:

Ing. Daniel A. García Gei

Dirigió:

Ing. Daniel A. García Gei

Ejemplo 11.2-1a)

Se requiere diseñar una viga armada de madera, cordones de pino insigne y alma de compensado.

La viga de 8.00 m de luz libre, transmite una carga de 8,00 kN/m

Verifica con unión clavada

a) Selecciono material y calidad - Determino tensiones de diseño y módulo elástico

Cordones: Pino insigne - conífera, calidad II, grupo 3 - Madera laminada

| Flexión | compresión | | tracción | corte | |
|---------|------------|-------|----------|-------|--------------------|
| fbd | fc00d | fc90d | ft00d | fvd | |
| 11.0 | 8.5 | 2.0 | 8.5 | 1.2 | MPa |
| 1.10 | 0.85 | 0.20 | 0.85 | 0.12 | kN/cm ² |

El módulo elástico E = 1,000 kN/cm² es valor medio.

Más rigurosamente, podría considerar el valor del 5º percentil (módulo característico)

E00m = 1000 kN/cm²
 E00k = 0,7 E00m = 700 kN/cm²

Tableros compensados

| | | | | | | |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 00 veta exterior | 13.0 | 8.0 | 3.0 | 8.0 | 1.8 | MPa |
| 90 veta exterior | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 4.0 | 1.8 | MPa |

Por simplicidad, asumo el módulo elástico igual al de la madera laminada

Ep = 1000 kN/cm²

b) Cálculo de esfuerzos en las secciones [kN - cm]

Lo = 800 cm
 L = 1,05Lo = 840 cm
 q = 0.08 kN/cm
 x = 0 210 420 630 840
 Ra ; Rb = 33.6 33.6
 Qx = 33.6 16.8 0 -16.8 -33.6
 Mx = 0 5292 7056 5292 0

c) Predimensiono y dibujo esquema de la sección

Altura o canto de la viga

Estimo $L/10 > h > L/20$
 Adopto **h = 60 cm**

Sección de los cordones

Estimo un brazo elástico interno $z=0,8 h$
 $z = 48 cm$

El esfuerzo normal en los cordones se aproxima a: $N = \max M/z$

$N_c = N_t = 147 kN$

La sección del cordón será mayor o igual a: $A_1 = N / f_{c90d}$

$A_1 \geq 173 cm^2$

Adopto b1 en función de dimensiones comerciales, por ejemplo laminado de 52 mm

b1 = 10.0 cm son dos piezas por cordón
h1 = 16.5 cm

Sección del alma

Estimo que el alma transmite el 100% del esfuerzo de corte

$A_w \geq 186.7 cm^2$

El espesor del alma viene dado por la altura de la viga: $t_w = A_w / h$

$t_w \geq 3.2 cm$

Adopto dos placas de 22mm, encoladas entre sí

t_w = 4.4 cm

El ancho total del cordón resulta

$b = b_1 + t_w = 14.4 cm$

Estimo la separación entre clavos considerando aproximadamente que el flujo de cizalla es:

$t = Q / z$ $t = 1 kN/cm$

Dos formas de resolver el clavado del alma a los cordones

1) Atravesar con clavos las 3 secciones, trabajando a doble sección de corte

Diámetro

Maderas blandas $d_{cl} \leq b_o / 7 = 0.63 \text{ cm}$

Maderas duras $d_{cl} \leq b_o / 9 = 0.49 \text{ cm}$

Longitud requerida $b_1/2 + t_w + 12 d_{cl}$

12 dcl es el anclaje que requiere el clavo para desarrollar el 100% de capacidad

$L_{cl} = 16.9 \text{ cm}$

Sólo puede anclarse en 5.0 cm

por lo que la capacidad se reducirá en: $a_o / 12d_{cl}$

Clavos **46 x 130** $N_2 = 1.5 \text{ kN}$

$N_{2d} = 1.3 \text{ kN}$

$e' = N_2 / t = 1.9 \text{ cm}$

2) Atravesar con clavos el alma y las secciones de cordón por mitades (en forma de] y [), luego vincular ambas partes, los clavos trabajan a simple sección de corte

Diámetro

Maderas blandas $d_{cl} \leq b_o / 7 = 0.63 \text{ cm}$

Maderas duras $d_{cl} \leq b_o / 9 = 0.49 \text{ cm}$

Longitud requerida $t_w + 12 d_{cl}$

12 dcl es el anclaje que requiere el clavo para desarrollar el 100% de capacidad

$L_{cl} = 7.5 \text{ cm}$

Sólo puede anclarse en $a_o = 5.0 \text{ cm}$

por lo que la capacidad se reducirá en: $a_o / 12d_{cl}$

Clavos **27 x 50** $N_1 = 2.8 \text{ kN}$

$N_{1d} = 2.8 \text{ kN}$

$e' = N_2 / t = 8.0 \text{ cm}$

Adopto la opción **1)**, con separación media de clavos e' menor al valor ya determinado.

Esta separación controla la flexibilidad de la unión clavada y, consiguientemente, la inercia de la sección compuesta, luego se verificará por resistencia y adoptaremos el valor menor.

$e' = 2 \text{ cm}$

Nota (1) Iterando he conseguido un valor de e' tal que cumpla las condiciones de flexión normal, rigidez, cortante y pandeo lateral. No olvidemos que la flexibilidad de la junta controla también la inercia del cordón comprimido respecto de su eje vertical (y-y)

Características mecánicas

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| $A_1 = 165 \text{ cm}^2$ | $A_{1n} = 146.6 \text{ cm}^2$ |
| $I_1 = 3743.4 \text{ cm}^4$ | $I_{1n} = 3465.1 \text{ cm}^4$ |
| $a_1 = 21.75 \text{ cm}$ | |
| $A_w = 264 \text{ cm}^2$ | $A_{wn} = 247.81 \text{ cm}^2$ |
| $I_w = 79200 \text{ cm}^4$ | $I_{wn} = 75370 \text{ cm}^4$ |
| $C_x = 18 \text{ kN/cm}$ | |
| $C_y = 14 \text{ kN/cm}$ | |
| $k_x = 0.18$ | |
| $k_y = 0.2308$ | |
| $\gamma_x = 0.85$ | |
| $\gamma_y = 0.81$ | |
| $I_{xef} = 219039 \text{ cm}^4$ | $S_{xef} = 7301.3 \text{ cm}^3$ |
| $I_{yef} = 7293 \text{ cm}^4$ | $S_{yef} = 243.1 \text{ cm}^3$ |
| $S_o = 5568.8 \text{ cm}^3$ | |
| $S_1 = 3588.8 \text{ cm}^3$ | |
| $S_w = 1980 \text{ cm}^3$ | |
| $r_y = 6.65 \text{ cm}$ | |

d) Verifico capacidad de la sección

CAPACIDAD DE LA SECCION

FLEXIÓN

Capacidad

| | | |
|--------------|------------|----------|
| $M_w =$ | 9033 kN cm | |
| $M_{1(+)} =$ | 8122 kN cm | |
| $M_{1(-)} =$ | 8122 kN cm | |
| $M_{t1} =$ | 8971 kN cm | |
| $M_{res} =$ | 8122 kN cm | Verifica |

Tensiones

| | | |
|------------|-------------------------|----------|
| $f_{bw} =$ | 0.97 kN/cm ² | Verifica |
| $f_{b1} =$ | 0.82 kN/cm ² | Verifica |
| $f_{t1} =$ | 0.67 kN/cm ² | Verifica |

PANDEO LATERAL

Asumo apoyos laterales del cordón comprimido, para:

| | | | |
|---------------|-------------|--------------|------|
| $L_b =$ | 210 cm | | |
| $\lambda_y =$ | 32 | $\omega_y =$ | 1.00 |
| $M_{bkd} =$ | 10120 kN cm | Verifica | |

CORTANTE

| | | |
|-------------|----------|----------|
| $Q_{res} =$ | 34.54 kN | Verifica |
|-------------|----------|----------|

PANDEO DEL ALMA, debido a carga concentrada de la reacción

| | | | | |
|---------------|---------------------|--------------|------|--------------------------------------------|
| $\lambda_y =$ | 48 | $\omega_y =$ | 1.53 | |
| $A_{cw} =$ | 387 cm ² | | | |
| $N_{c wd} =$ | 101.2 kN | Verifica | | No requiere montante o travesaño en apoyos |

e) Disposición de la clavadura

UNIONES CLAVADAS

Flujo de cizalla

$t_{ef} = 0.4667$ kN/cm

| | | | |
|--------|------------------------|------------|---------|
| Clavos | 46 x 130 | $N_2 =$ | 1.45 kN |
| | | $N_{2d} =$ | 1.3 kN |

| | |
|---------|-----------|
| $n =$ | 4 hileras |
| $e < =$ | 11 cm |

Debe resultar

| | |
|------------|--------|
| $e_{00} >$ | 4.6 cm |
| $e_{90} >$ | 2.3 cm |

Adopto

| | |
|-------------------------|--------|
| Entre clavos $e_{00} =$ | 8 cm |
| Al borde: $e_{90} =$ | 3 cm |
| Entre Filas: $e_{90} =$ | 3.5 cm |

Debe cumplimentar la separación media e'

f) Verifico condiciones de rigidez

CONDICION DE RIGIDEZ

La flecha se ha limitado a L/300. Considerando el valor medio de E_{oo} , resulta:

$L / 300 = 2.8$ cm

$I_{xef} > = 310$ M(kNm) L(m) E_{oom}/E_{ook}

$I_{xef} > = 183738$ cm⁴ Verifica

Para lograr esta verificación tuve que iterar nuevamente valores de e' ajustando la rigidez de la junta

$f = f_M + f_Q = 2.8$ cm Verifica

$f_M = 2.4$ cm

$f_Q = 0.4$ cm

g) Estimo la cantidad de materiales

COMPUTO DE MATERIALES

| | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Cordones: 4 listones de 2,5x7" x 8,40 m | " | 588 |
| Tablero de 22 mm :2 de 0,60x8,40 | m ² | 10 |
| Clavos 49*120 | n ^o | 842 |
| Cola, para pegar los tableros de alma (4m ² /kg) | kg | 2 |

Ejemplo 11.2-1b)

Se requiere diseñar una viga armada de madera, cordones de pino insigne y alma de compensado.

La viga de 8.00 m de luz libre, transmite una carga de 8,00 kN/m

Verifica con unión encolada

a) Selección material y calidad - Determino tensiones de diseño y módulo elástico

Cordones: Pino insigne - conífera, calidad II, grupo 3 - Madera laminada

| Flexión | compresión | | tracción | corte | |
|---------|------------|-------|----------|-------|--------------------|
| fbd | fc00d | fc90d | ft00d | fvd | |
| 11.0 | 8.5 | 2.0 | 8.5 | 1.2 | MPa |
| 1.10 | 0.85 | 0.20 | 0.85 | 0.12 | kN/cm ² |

El módulo elástico E = 1,000 kN/cm² es valor medio.

E00m = 1000 kN/cm²
 E00k = 0,7 E00m = 700 kN/cm²

Tableros compensados

| | | | | | | |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 00 veta exterior | 13.0 | 8.0 | 3.0 | 8.0 | 1.8 | MPa |
| 90 veta exterior | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 4.0 | 1.8 | MPa |

Por simplicidad, asumo el módulo elástico igual al de la madera laminada

Ep = 1000 kN/cm²

b) Cálculo de esfuerzos en las secciones [kN - cm]

Lo = 800 cm
 L = 1,05Lo = 840 cm
 q = 0.08 kN/cm

| | | | | | |
|-----------|------|------|------|-------|-------|
| x = | 0 | 210 | 420 | 630 | 840 |
| Ra ; Rb = | 33.6 | | | | 33.6 |
| Qx = | 33.6 | 16.8 | 0 | -16.8 | -33.6 |
| Mx = | 0 | 5292 | 7056 | 5292 | 0 |

c) Predimensiono y dibujo esquema de la sección

Altura o canto de la viga

Estimo $L/10 > h > L/20$

Adopto **h = 60** cm

Sección de los cordones

Estimo un brazo elástico interno z=0,8 h

z = 48 cm

El esfuerzo normal en los cordones se aproxima a: N = max M/z

Nc = Nt = 147 kN

La sección del cordón será mayor o igual a: A1 = N / fc90d

A1 >= 173 cm²

Adopto b1 en función de dimensiones comerciales, por ejemplo laminado de 52 mm

b1 = 10.0 cm son dos piezas por cordón

h1 = 12.6 cm

Sección del alma

Estimo que el alma transmite el 100% del esfuerzo de corte

Aw >= 186.7 cm²

tw >= 3.2 cm

Adopto dos placas de 22mm, encoladas entre sí

tw = 4.4 cm

El ancho total del cordón resulta

b = b1 + tw = 14.4 cm

La unión encolada conduce a un valor de g = 1 Esto se obtiene adoptando e' = 0

e' = 0 cm

Características mecánicas

| | | | |
|--------------|------------------------|-------------|------------------------|
| $A_1 =$ | 126 cm ² | $A_{1n} =$ | 126 cm ² |
| $a_1 =$ | 23.7 cm | | |
| $A_w =$ | 264 cm ² | $A_{wn} =$ | 264 cm ² |
| $C_x =$ | 18 kN/cm | | |
| $C_y =$ | 14 kN/cm | | |
| $k_x =$ | 0.00 | | |
| $k_y =$ | 0.00 | | |
| $\gamma_x =$ | 1.00 | | |
| $\gamma_y =$ | 1.00 | | |
| $I_{xef} =$ | 224080 cm ⁴ | $S_{xef} =$ | 7469.3 cm ³ |
| $I_{yef} =$ | 6794 cm ⁴ | $S_{yef} =$ | 226.5 cm ³ |
| $S_o =$ | 4966.2 cm ³ | | |
| $S_1 =$ | 2986.2 cm ³ | | |
| $S_w =$ | 1980 cm ³ | | |
| $r_y =$ | 7.34 cm | | |

d) Verifico capacidad de la sección

CAPACIDAD DE LA SECCION

FLEXIÓN

Capacidad

| | | |
|-------------|------------|----------|
| $M_w =$ | 9710 kN cm | |
| $M_1 =$ | 9180 kN cm | |
| $M_{t1} =$ | 8037 kN cm | |
| $M_{res} =$ | 8037 kN cm | Verifica |

Tensiones

| | | |
|------------|-------------------------|----------|
| $f_{bw} =$ | 0.00 kN/cm ² | Verifica |
| $f_{b1} =$ | 0.37 kN/cm ² | Verifica |
| $f_{t1} =$ | 0.75 kN/cm ² | Verifica |

PANDEO LATERAL

Asumo apoyos laterales del cordón comprimido, para:

| | | |
|---------------|-------------|-------------------|
| $L_b =$ | 280 cm | |
| $\lambda_y =$ | 39 | $\omega_y =$ 1.00 |
| $M_{bkd} =$ | 10352 kN cm | Verifica |

CORTANTE

| | | |
|-------------|----------|----------|
| $Q_{res} =$ | 35.74 kN | Verifica |
|-------------|----------|----------|

PANDEO DEL ALMA, debido a carga concentrada de la reacción

| | | |
|---------------|---------------------|-------------------|
| $\lambda_y =$ | 51 | $\omega_y =$ 1.60 |
| $A_{cw} =$ | 387 cm ² | |
| $N_{c wd} =$ | 96.9 kN | Verifica |

UNIONES ENCOLADAS

Flujo de cizalla

$t_{ef} = 0.4478$ kN/cm

Esfuerzos en el encolado

$\tau = 0.018$ kN/cm² Verifica

e) Verifico condiciones de rigidez

CONDICION DE RIGIDEZ

La flecha se ha limitado a L/300. Considerando el valor medio de Eoo, resulta:

$$L / 300 = 2.8 \text{ cm}$$

$$I_{xef} \geq 310 \text{ M(kNm) L(m) } E_{oom}/E_{ook}$$

$$I_{xef} \geq 183738 \text{ cm}^4 \quad \text{Verifica}$$

Para lograr esta verificación tuve que iterar nuevamente valores de e' ajustando la rigidez de la junta

$$f = f_M + f_Q = 2.7 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

$$f_M = 2.3 \text{ cm}$$

$$f_Q = 0.4 \text{ cm}$$

f) Estimo la cantidad de materiales

COMPUTO DE MATERIALES

| | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------|------------|
| Cordones: 4 listones de 2,5x6" x 8,40 m | " | 504 |
| Tablero de 22 mm :2 de 0,60x8,40 | m ² | 10 |
| Cola, para pegar los tableros de alma (4m ² /kg) | kg | 2 |
| Cola, para pegar cordones y alma (4m ² /kg) | kg | 2 |