

## **MÉTODO DE DISEÑO SIMPLIFICADO EN EL DIMENSIONADO DE CORREAS PARA CUBIERTAS METÁLICAS CON PERFILES C CONFORMADOS EN FRÍO SEGÚN CIRSOC 303-09**

Belcaro, Franco Mariano<sup>1</sup>; Orler, Rodolfo<sup>1</sup>; Donini Hugo Juan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero en Construcciones, <sup>2</sup>Ing. Civil e Hidráulico. Mag. en Geografía de Espacios Litorales

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (Sede Trelew).

francobelcaro@gmail.com

### **RESUMEN**

El dimensionado de correas para cubiertas metálicas con perfiles conformados en frío es una tarea habitual para el proyectista de este tipo de estructuras, pero a su vez su cálculo a través del reglamento CIRSOC 303-09 resulta un trabajo laborioso y complejo. La tarea más complicada es determinar las resistencias de diseño en ambos planos de las secciones tipo C para las distintas acciones.

En este trabajo se propone generar tablas con resistencias de diseño de flexión y corte para perfiles comerciales tipo C más utilizados de acero calidad F-24 con el fin que el dimensionado de estos elementos resulte más sencillo.

Para la determinación de las resistencias de diseño de los perfiles C se tuvo en cuenta las acciones gravitatorias y del viento, como también la determinación de los anchos y áreas efectivas que exige el reglamento.

### **ABSTRACT**

The dimensioning of purlins for metal roofs with cold-formed profiles is a common task for the designer of this type of structures, but in turn its calculation through the CIRSOC 303-09 regulation is a laborious and complex job. The most complex task is to determine the design resistances in both planes of the type C sections for the different actions.

In this work, it is proposed to generate tables with bending and shear design resistances for the most used type C commercial profiles of F-24 quality steel in order to make the dimensioning of these elements easier.

For the determination of the design resistances of the C profiles, the gravitational and wind actions were taken into account, as well as the determination of the effective widths and areas required by the codes.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende desarrollar un procedimiento simplificado con fines prácticos y didácticos en comparación con la metodología planteada según CIRSOC 303/09 para el dimensionado de correas de perfiles C en cubiertas. Las dimensiones de este tipo de perfil se observan en la Figura 1.

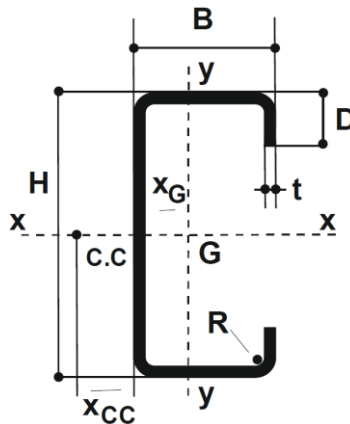


Figura 1. Perfil C conformado en frío (Referencia 1).

Las hipótesis que se adoptaron para la obtención de las resistencias de diseño y la utilización de este método son:

- Cuando la flexión se produce alrededor del eje x para cargas gravitatorias (peso propio, sobrecargas y nieve) se consideró que el ala superior comprimida se encuentra arriostrada por una chapa que está unida mediante tornillos autopercutores o autorroscantes colocados en el valle del plegado (Ver Figura 2).
- Para el caso de cargas de succión (viento) el ala inferior resulta comprimida y el ala superior traccionada. Esta última está arriostrada como se mencionó anteriormente.
- Al estar arriostrado el cordón superior se desprecia la torsión al no pasar la carga por el centro de corte (Referencia 2)



Figura 2. Tornillos autorroscantes colocados en el valle del plegado de la chapa

Entonces, para utilizar las tablas que se presentarán a continuación se debe asegurar en obra que el revestimiento con chapa debe estar unido mediante tornillos autopercutores o autorroscantes colocados en el valle del plegado. En caso de no ser

así se debe realizar un análisis particular.

## VERIFICACIÓN DE RELACIÓN DE ESBELTEZ

Se deben verificar la relación entre el ancho plano y el espesor de cada elemento que conforma la sección C, según el Capítulo B de la Referencia 3.

## ANCHOS EFECTIVOS

El ancho efectivo,  $b_e$ , se deberá determinar utilizando las siguientes expresiones:

$$b_e = b \text{ cuando } \lambda \leq 0,673 \quad (1)$$

$$b_e = \rho \cdot b \text{ cuando } \lambda > 0,673 \quad (2)$$

$$\rho = (1 - 0,22 / \lambda) / \lambda \quad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} \quad (4)$$

$$F_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (5)$$

Siendo:

$b$  = Ancho plano.

$\lambda$  = Esbeltez del elemento que se determina de la manera indicada a continuación.

$k$  = Coeficiente de abolladura de placas que se determina según la Referencia 3 y 4.

- a) Para elementos rigidizados simplemente apoyados sobre un alma en cada borde longitudinal y uniformemente comprimido se adopta  $k = 4$ .

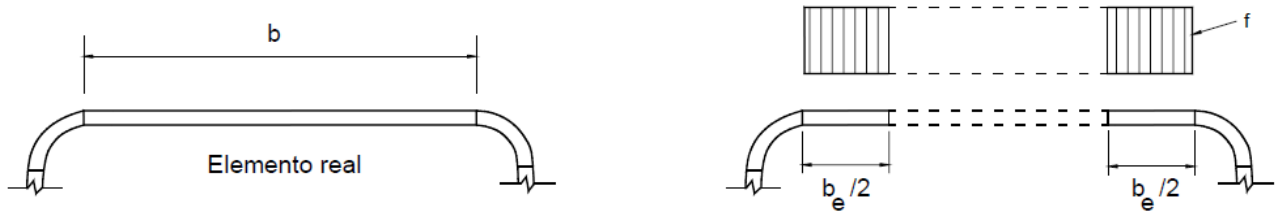


Figura 3. Elemento rigidizado uniformemente comprimido (Referencia 3)

- b) Para elementos comprimidos con un rigidizador de borde el coeficiente de abolladura se calcula según la Tabla 1.

Labio rigidizador simple ( $140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$ )		Otros rigidizadores de borde
$D/b \leq 0,25$	$0,25 < D/b \leq 0,8$	
$3,57 (R_1)^n + 0,43 \leq 4$	$\left(4,82 - \frac{5D}{b}\right) (R_1)^n + 0,43 \leq 4$	$3,57 (R_1)^n + 0,43 \leq 4$

Tabla 1. Determinación del coeficiente de abolladura (Referencia 3)

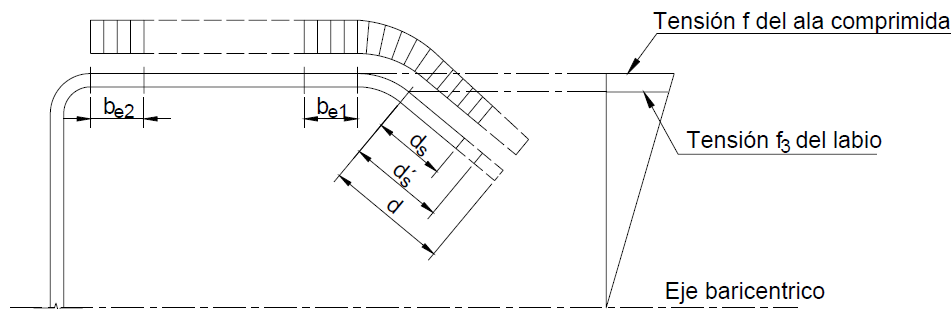


Figura 4. Elemento con un labio simple rigidizador de borde (Referencia 3)

- c) Para elementos rigidizados con tensiones linealmente variables se adopta  $k = 4 + 2 \cdot (1 + \psi)^3 + 2 \cdot (1 + \psi)$ .

Siendo:

$$\psi = \frac{f_1}{f_2} \quad (\text{En valor absoluto}).$$

$f_1, f_2$  = Tensiones que se muestran en la Figura 5 calculadas en función de la sección efectiva. Cuando  $f_1$  y  $f_2$  son de compresión,  $f_1 \geq f_2$ .

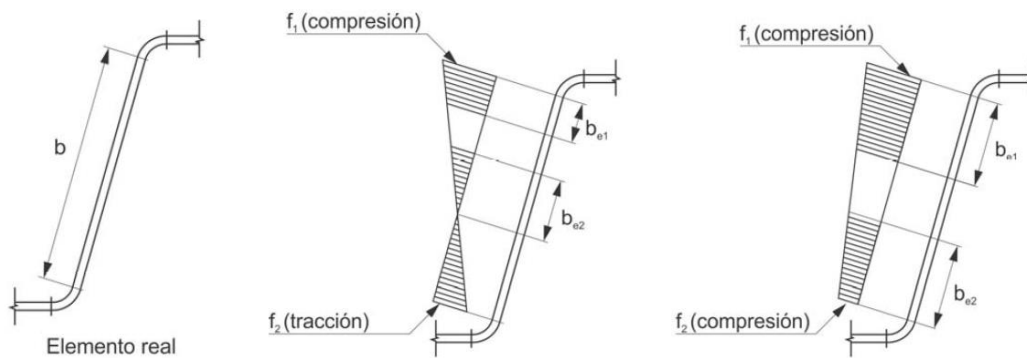


Figura 5. Alma rigidizadas con tensiones linealmente variables (Referencia 3)

d) Para elementos no rigidizados uniformemente comprimidos se adopta  $k = 0,43$

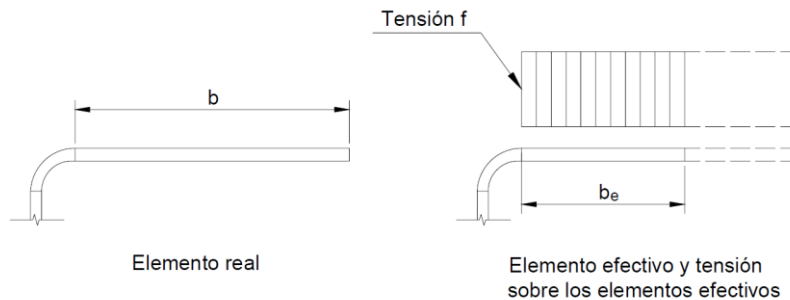


Figura 6. Elemento no rigidizado uniformemente comprimido (Referencia 3)

## RESISTENCIA NOMINAL PARA FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE X-X

Cuando la flexión se produce alrededor del eje X-X (eje fuerte) se debe analizar dos casos:

1. Que predominen las cargas gravitatorias: en este caso el ala superior se encuentra comprimida.
2. Que predominen las cargas de viento: se genera succión en la cubierta lo que hace que el ala inferior se comprima.

### Cargas gravitatorias

Cuando la unión del ala comprimida del perfil a la chapa de la cubierta se realiza con tornillos autoperforantes o autorroscantes colocados en el valle del plegado y el arriostramiento del sistema de cubierta se realiza según lo especificado en el artículo D.3.2.1 (Referencia 3), la resistencia nominal a la flexión,  $M_n$ , de secciones C cargadas en un plano paralelo al alma, se determinará considerando como longitud no

arriostrada 2 veces la distancia entre pasadores medida según el eje del perfil de la siguiente manera:

$$M_n = S_c \cdot F_c \cdot (10)^{-3} \quad \phi = 0,90 \quad (6)$$

- Para  $F_e \geq 2,78 \cdot F_y$

$$F_c = F_y \quad (7)$$

- Para  $2,78 \cdot F_y > F_e > 0,56 \cdot F_y$

$$F_c = \frac{10}{9} \cdot F_y \cdot \left( 1 - \frac{10 \cdot F_y}{36 \cdot F_e} \right) \quad (8)$$

- Para  $F_e \leq 0,56 \cdot F_y$

$$F_c = F_e \quad (9)$$

Siendo:

$S_c$  = Módulo elástico de la sección efectiva, referido a la fibra extrema comprimida con la tensión  $F_c$ , en  $\text{cm}^3$ .

$F_e$  = Tensión elástica crítica de pandeo lateral-torsional calculado de acuerdo con (a) o (b) del artículo C.3.1.2.1 (Referencia 3) en MPa.

La longitud entre pasadores adoptada para este trabajo es de 50 cm, por lo tanto la longitud no arriostrada es de 100 cm.

La longitud no arriostrada límite  $L_u$  para la cual el pandeo lateral no es crítico se obtiene con la siguiente fórmula:

$$L_u = \left\{ \frac{G \cdot J}{2 \cdot C_1} + \left[ \frac{C_2}{C_1} + \left( \frac{G \cdot J}{2 \cdot C_1} \right)^2 \right]^{0,5} \right\}^{0,5} \quad (10)$$

Siendo:

$$C_1 = \frac{7,72}{A \cdot E} \cdot \left[ \frac{k_y \cdot F_y \cdot S_f}{C_b \cdot \pi \cdot r_y} \right]^2 \quad \text{para secciones de simple simetría} \quad (11)$$

$$C_2 = \frac{\pi \cdot E \cdot C_w}{(k_t)^2} \quad (12)$$

Siendo:

$k_y, k_t$  = Factores de longitud efectiva.

$A$  = Área total de la sección transversal, en  $\text{cm}^2$ .

$G$  = Módulo de elasticidad transversal, en MPa.

$E$  = Módulo de elasticidad longitudinal, en MPa.

$S_f$  = Módulo resistente elástico de la sección transversal no reducida (sección total) referido a la fibra comprimida extrema, en  $\text{cm}^3$

$C_w$  = Módulo de alabeo de la sección transversal, en  $\text{cm}^6$ .

$J$  = Módulo de torsión de Saint Venant, en  $\text{cm}^4$ .

$r_y$  = Radio de giro de la sección bruta respecto al eje  $y$ , en  $\text{cm}$ .

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C}$$

Para este caso particular se consideró las correas simplemente apoyadas y cargas distribuidas, por lo que el diagrama de momento es parabólico, siendo  $C_b = 1,136$

### Cargas de viento

La resistencia nominal a la flexión,  $M_n$ , en  $\text{kNm}$  de secciones C o Z cargadas en un plano paralelo al alma, con el ala traccionada unida a un tablero o revestimiento y con el ala comprimida sin arriostramiento lateral se debe calcular de la siguiente manera:

$$M_n = R \cdot S_e \cdot F_y \cdot (10)^{-3} \quad \phi = 0,90 \quad (13)$$

Siendo:

$S_e$  = Módulo elástico de la sección efectiva calculado para la fibra extrema comprimida o traccionada con  $F_y$ , en  $\text{cm}^3$ .

$F_y$  = Tensión de fluencia en MPa.

$R$  = Factor de reducción que se obtiene de la siguiente tabla:

Altura (mm)	Sección	R
$d \leq 165$	C o Z	0,70
$165 < d \leq 216$	C o Z	0,65
$216 < d \leq 292$	Z	0,50
$216 < d \leq 292$	C	0,40

Tabla 2. Valores de R para secciones C o Z de un solo tramo (Referencia 3)

Para aplicar la ecuación 13, el sistema de cubierta debe satisfacer 15 condiciones que se indica en la sección C.3.1.3. (Referencia 3). Pero debido a que los perfiles utilizados en nuestro medios por lo general no cumplen con la condición 3 y 4, no es posible utilizar la misma. Dichas condiciones que no se cumplen son:

$$(3) \quad 60 \leq \text{altura} / \text{espesor} \leq 170$$

$$(4) \quad 2,8 \leq \text{altura} / \text{ancho del ala} \leq 4,5$$

Se debería realizar ensayos a escala real para validar esta ecuación utilizando los perfiles de nuestro medio.

En forma conservadora se determinó la resistencia nominal a la flexión con la ecuación 6 con distintas luces de correas, teniendo como consideración que el cordón inferior comprimido no se encuentra arriostrado y la chapa unida en el cordón superior traccionado no aporta resistencia al pandeo lateral. De todas maneras se calculó la resistencia con la ecuación 13 con el fin de comparar valores, aunque se deja aclarado que estos valores no se deben utilizar por lo ya expuesto.

## RESISTENCIA NOMINAL PARA FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE Y-Y

Cuando la flexión es alrededor del eje Y-Y (eje débil) no se produce pandeo lateral, por lo que la resistencia nominal a la flexión,  $M_n$ , se deberá calcular en base a la iniciación de la fluencia en la sección efectiva (Procedimiento I) o en base a la capacidad de reserva inelástica (Procedimiento II) cuando se admita su consideración.

a) Procedimiento I - En base a la iniciación de la fluencia:

El momento elástico efectivo,  $M_n$  (en kNm), se debe determinar de la siguiente manera:

$$M_n = S_e \cdot F_y \cdot (10^{-3}) \quad \phi = 0,95 \quad (14)$$

Siendo:

$F_y$  = La tensión de fluencia según lo especificado en el artículo A.2.8, en MPa.

b) Procedimiento II - En base a la reserva de capacidad flexional inelástica:

La reserva de capacidad flexional inelástica se puede utilizar cuando se satisfacen simultáneamente las condiciones indicadas en la sección C.3.1.1. de la Referencia 3.

### RESISTENCIA DE DISEÑO AL CORTE

La resistencia nominal al corte  $V_n$  (kN) se determinará de la siguiente manera:

$$V_n = A_w \cdot F_v \cdot (10)^{-1} \quad (15)$$

1. Para  $h/t \leq \sqrt{E \cdot k_v / F_y}$

$$F_v = 0,6 \cdot F_y \quad (16)$$

2. Para  $\sqrt{E \cdot k_v / F_y} < h/t \leq 1,51 \cdot \sqrt{E \cdot k_v / F_y}$

$$F_v = \frac{0,6 \cdot \sqrt{E \cdot k_v \cdot F_y}}{(h/t)} \quad (17)$$

3. Para  $h/t > 1,51 \cdot \sqrt{E \cdot k_v / F_y}$

$$F_v = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot k_v}{12 \cdot (1 - \mu^2) (h/t)^2} = \frac{0,904 \cdot E \cdot k_v}{(h/t)^2} \quad (18)$$

La resistencia de diseño al corte  $V_d$  es:

$$V_d = \phi_v \cdot V_n \quad \phi_v = 0,95 \quad (19)$$

Siendo:

$A_w = h \cdot t =$  Área del alma de la barra, en  $cm^2$ .

$E =$  Módulo de elasticidad longitudinal, en  $MPa$ .

$F_v =$  Tensión de corte, en  $MPa$ .

$V_n =$  Resistencia nominal al corte, en  $kN$ .

$t =$  Espesor del alma, en  $cm$ .

$h =$  Altura de la parte plana del alma medida sobre el plano del alma, en  $cm$ .

$k_v =$  Coeficiente de abolladura por corte que se determina según el artículo C.3.2.1 de la Referencia 3.

## PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

En base a las ecuaciones descriptas anteriormente, se calcularon las resistencias de diseño a flexión, corte, longitud limite no arriostrada, módulos resistentes y momentos de inercia efectivos de correas comerciales para flexión alrededor de los ejes x e y. Las resistencias de diseño se obtuvieron con una tensión de fluencia de  $F_y = 235\text{MPa}$ . Estas resistencias se resumen en la Tabla 3.

Designación	Resistencia de diseño a flexión							$\phi \cdot M_{ny}$
	$\phi \cdot M_{nx}$ (Gravitatorias)	$\phi \cdot M_{nx}$ (Succión)					$\phi \cdot M_{nx}$ (Succión)* (Ecuación 13)	
		L = 4,00m	L = 4,50m	L = 5,00m	L = 5,50m	L = 6,00m		
C 100 x 50 x 15 x 2	2.40 kNm	0.96 kNm	0.80 kNm	0.68 kNm	0.59 kNm	0.52 kNm	1.68 kNm	1.00 kNm
C 120 x 50 x 15 x 2	3.73 kNm	1.50 kNm	1.25 kNm	1.07 kNm	0.94 kNm	0.83 kNm	2.61 kNm	1.23 kNm
C 140 x 60 x 20 x 2	5.33 kNm	2.88 kNm	2.35 kNm	1.98 kNm	1.69 kNm	1.48 kNm	3.73 kNm	1.92 kNm
C 140 x 60 x 20 x 2.5	6.52 kNm	3.73 kNm	3.10 kNm	2.63 kNm	2.28 kNm	2.01 kNm	4.56 kNm	2.32 kNm
C 140 x 60 x 20 x 3.2	8.08 kNm	5.04 kNm	4.30 kNm	3.71 kNm	3.26 kNm	2.90 kNm	5.65 kNm	2.80 kNm
C 160 x 60 x 20 x 2	6.37 kNm	3.30 kNm	2.69 kNm	2.24 kNm	1.92 kNm	1.66 kNm	4.46 kNm	1.93 kNm
C 160 x 60 x 20 x 2.5	7.80 kNm	4.24 kNm	3.49 kNm	2.95 kNm	2.55 kNm	2.23 kNm	5.46 kNm	2.35 kNm
C 160 x 60 x 20 x 3.2	9.69 kNm	5.69 kNm	4.78 kNm	4.09 kNm	3.58 kNm	3.17 kNm	6.78 kNm	2.84 kNm
C 180 x 70 x 25 x 2	8.43 kNm	5.63 kNm	4.72 kNm	3.90 kNm	3.29 kNm	2.83 kNm	5.48 kNm	2.75 kNm
C 180 x 70 x 25 x 2.5	10.35 kNm	7.03 kNm	5.99 kNm	5.00 kNm	4.25 kNm	3.68 kNm	6.73 kNm	3.38 kNm
C 180 x 70 x 25 x 3.2	12.91 kNm	9.05 kNm	7.90 kNm	6.73 kNm	5.80 kNm	5.07 kNm	8.39 kNm	4.17 kNm
C 200 x 70 x 25 x 2.5	11.93 kNm	7.95 kNm	6.70 kNm	5.56 kNm	4.72 kNm	4.07 kNm	7.75 kNm	3.40 kNm
C 200 x 70 x 25 x 3.2	14.90 kNm	10.19 kNm	8.78 kNm	7.40 kNm	6.34 kNm	5.53 kNm	9.69 kNm	4.20 kNm

Tabla 3. Tabla de resistencias de diseño para perfiles comerciales C (elaboración propia)

Designación	Resistencia de diseño a corte		Longitud limite $L_u$	Modulo resistente efectivo		Momento de inercia efectivo	
	$\phi \cdot V_{nx}$	$\phi \cdot V_{ny}$		$S_{ex}$	$S_{ey}$	$I_{yg}$	$I_{xg}$
C 100 x 50 x 15 x 2	20,06 kN	18,69 kN	136,49 cm	11,34 cm <sup>3</sup>	3,58 cm <sup>3</sup>	11,58 cm <sup>4</sup>	56,71 cm <sup>4</sup>
C 120 x 50 x 15 x 2	30,00 kN	22,50 kN	134,22 cm	17,64 cm <sup>3</sup>	4,40 cm <sup>3</sup>	15,11 cm <sup>4</sup>	105,82 cm <sup>4</sup>
C 140 x 60 x 20 x 2	35,36 kN	27,86 kN	165,58 cm	25,21 cm <sup>3</sup>	6,86 cm <sup>3</sup>	26,78 cm <sup>4</sup>	176,44 cm <sup>4</sup>
C 140 x 60 x 20 x 2.5	43,53 kN	33,49 kN	165,78 cm	30,81 cm <sup>3</sup>	8,33 cm <sup>3</sup>	33,85 cm <sup>4</sup>	215,65 cm <sup>4</sup>
C 140 x 60 x 20 x 3.2	54,52 kN	40,46 kN	167,17 cm	38,19 cm <sup>3</sup>	10,04 cm <sup>3</sup>	41,83 cm <sup>4</sup>	267,35 cm <sup>4</sup>
C 160 x 60 x 20 x 2	36,12 kN	27,86 kN	163,72 cm	30,12 cm <sup>3</sup>	6,91 cm <sup>3</sup>	27,29 cm <sup>4</sup>	241,00 cm <sup>4</sup>
C 160 x 60 x 20 x 2.5	50,23 kN	33,49 kN	163,56 cm	36,87 cm <sup>3</sup>	8,40 cm <sup>3</sup>	34,74 cm <sup>4</sup>	294,99 cm <sup>4</sup>
C 160 x 60 x 20 x 3.2	63,10 kN	40,46 kN	163,93 cm	45,81 cm <sup>3</sup>	10,17 cm <sup>3</sup>	43,42 cm <sup>4</sup>	366,48 cm <sup>4</sup>
C 180 x 70 x 25 x 2	36,12 kN	33,22 kN	194,72 cm	39,85 cm <sup>3</sup>	9,84 cm <sup>3</sup>	42,93 cm <sup>4</sup>	358,63 cm <sup>4</sup>
C 180 x 70 x 25 x 2.5	56,44 kN	40,19 kN	194,48 cm	48,92 cm <sup>3</sup>	12,13 cm <sup>3</sup>	55,84 cm <sup>4</sup>	440,29 cm <sup>4</sup>
C 180 x 70 x 25 x 3.2	71,67 kN	49,04 kN	195,03 cm	61,04 cm <sup>3</sup>	14,96 cm <sup>3</sup>	72,03 cm <sup>4</sup>	549,34 cm <sup>4</sup>
C 200 x 70 x 25 x 2.5	56,44 kN	40,19 kN	192,64 cm	56,40 cm <sup>3</sup>	12,19 cm <sup>3</sup>	56,67 cm <sup>4</sup>	563,99 cm <sup>4</sup>
C 200 x 70 x 25 x 3.2	80,24 kN	49,04 kN	192,46 cm	70,46 cm <sup>3</sup>	15,06 cm <sup>3</sup>	73,56 cm <sup>4</sup>	704,62 cm <sup>4</sup>

Tabla 3. Continuación

**Nota:** \* Los valores de esta columna son solo a título informativo, no deben utilizarse en el cálculo ya que no cumplen con las condiciones 3 y 4 que se exige en la sección C.3.1.3. (Referencia 3).

## Verificación a flexión disimétrica

Se debe aplicar la expresión C.5.2.1-1 del CIRSOC 303/09, con  $P_u = 0$ , por lo que las resistencias requeridas  $M_{ux}$  y  $M_{uy}$ , deben satisfacer la expresión (20) de interacción. Adicionalmente, cada relación individual no debe ser mayor que 1:

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \leq 1 \quad (20)$$

Siendo:

$M_{ux}, M_{uy}$  = Resistencia a flexión requerida respecto de los ejes principales de la sección efectiva, en kNm.

$\phi_b \cdot M_{nx}, \phi_b \cdot M_{ny}$  = Resistencia de diseño a flexión respecto de los ejes principales, obtenidos de la Tabla 3, en kNm.

### 1. Verificación a corte

Se debe verificar que:

$$\begin{aligned} V_{ux} &\leq V_{dx} = \phi_v \cdot V_{nx} \\ V_{uy} &\leq V_{dy} = \phi_v \cdot V_{ny} \end{aligned} \quad (21)$$

Siendo:

$V_{ux}, V_{uy}$  = Resistencia a corte requerida respecto de los ejes principales de la sección efectiva, en kN.

$\phi_v \cdot V_{nx}, \phi_v \cdot V_{ny}$  = Resistencia de diseño a corte respecto de los ejes principales, obtenidos de la Tabla 3, en kN.

## Verificación a flexión y corte combinados

Para vigas solicitadas a flexión y a corte, la resistencia requerida a flexión  $M_u$ , y la resistencia requerida al corte  $V_u$ , no deben superar a  $\phi_b \cdot M_n$  y  $\phi_v \cdot V_n$ , respectivamente.

Para vigas con almas no rigidizadas, la resistencia requerida a flexión  $M_u$ , y la

resistencia requerida al corte  $V_u$ , deberán también satisfacer la expresión (22) de interacción:

$$\left( \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_{nxo}} \right)^2 + \left( \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} \right)^2 \leq 1 \quad (22)$$

Siendo:

$V_u$  = Resistencia requerida a corte, en kN.

$M_u$  = Resistencia requerida a flexión, en kNm.

$\phi_v \cdot V_n$  = Resistencia de diseño a corte cuando sólo se considera corte obtenido de la Tabla 3, en kN.

$\phi_b \cdot M_{nxo}$  = Resistencia de diseño a flexión respecto al eje baricéntrico x, obtenido de la Tabla 3.

### Verificación en estado de servicio (deformaciones)

Al considerarse simplemente apoyadas, la ecuación de flecha es:

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{xs} \cdot l^4}{E \cdot I_{yg}} \cdot 10^{-1} \quad (23)$$

$$f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ys} \cdot l^4}{E \cdot I_{xg}} \cdot 10^{-1}$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq f_{adm} = L / 200 \quad (24)$$

Siendo:

$f_x, f_y$  = Deformación respecto a los ejes principales, en cm.

$q_{xs}, q_{ys}$  = Carga de servicio respecto a los ejes principales, en kN/m.

$l$  = Luz de la correa según la dirección analizada, en cm.

$I_{xg}, I_{yg}$  = Momentos de inercia efectivos respecto a los ejes principales, en cm<sup>4</sup>.

$E$  = Módulo de elasticidad del acero, en MPa.

Según la Tabla A-L.4.1. (Referencia 3) la flecha no debe superar el valor de L/200

(deformaciones verticales - techos en general).

### Determinación de los momentos y cortes últimos

El esquema estructural es el de una viga simplemente apoyada en el plano XZ e YZ

Plano XZ

$$M_{ux} = \frac{q_{uy} \cdot l^2}{8}$$

$$V_{ux} = \frac{q_{uy} \cdot l}{2}$$
(25)

Plano YZ

$$M_{uy} = \frac{q_{ux} \cdot l^2}{8}$$

$$V_{uy} = \frac{q_{ux} \cdot l}{2}$$
(26)

Las acciones más usuales en correas son:

$D$  = Peso propio.

$L_r$  = Sobrecarga en cubierta.

$S$  = Nieve.

$W$  = Viento.

Las combinaciones de estas acciones a analizar son:

$$U_1 = 1,4 \cdot D$$
(27)

$$U_2 = 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L_r$$
(28)

$$U_3 = 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot S$$
(29)

$$U_4 = 0,9 \cdot D + 1,6 \cdot W$$
(30)

Las cargas lineales son:

$$q_D = D \cdot s$$
(31)

$$q_{L_r} = L_r \cdot s$$
(32)

$$q_S = S \cdot s$$
(33)

$$q_w = W \cdot s \quad (34)$$

Siendo:

$s$  = Separación entre correas, en m.

$l$  = Luz de la correa, en m.

Se determinan las cargas lineales últimas en cada plano de acuerdo a las combinaciones a analizar.

1) Combinación  $U_1 = 1,4 \cdot D$

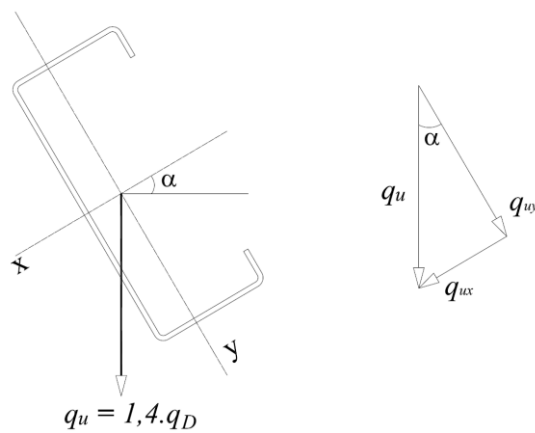


Figura 8. Determinación de cargas últimas para la combinación  $U_1$

$$q_{ux} = 1,4 \cdot q_D \cdot \text{sen} \alpha$$

$$q_{uy} = 1,4 \cdot q_D \cdot \text{cos} \alpha$$

(35)

2) Combinación  $U_2 = 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L_r$  y  $U_3 = 1,2 \cdot D + 1,6 \cdot S$

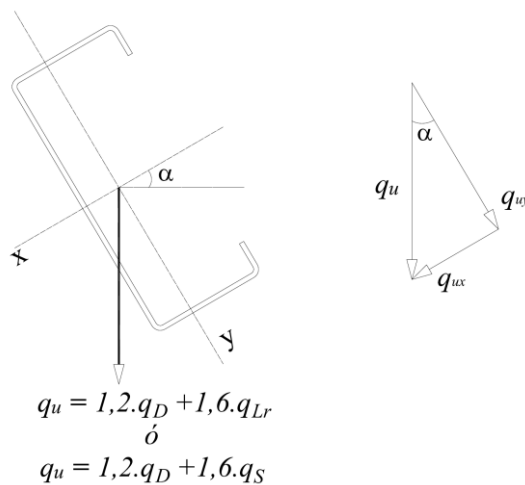


Figura 9. Determinación de cargas últimas para las combinaciones  $U_2$  y  $U_3$

Para sobrecarga en cubierta ( $L_r$ )

$$q_{ux} = (1,2 \cdot q_D + 1,6 \cdot q_{L_r}) \cdot \text{sen} \alpha$$

$$q_{uy} = (1,2 \cdot q_D + 1,6 \cdot q_{L_r}) \cdot \text{cos} \alpha$$
(36)

Para acción de la nieve (S)

$$q_{ux} = (1,2 \cdot q_D + 1,6 \cdot q_S) \cdot \text{sen} \alpha$$

$$q_{uy} = (1,2 \cdot q_D + 1,6 \cdot q_S) \cdot \text{cos} \alpha$$
(37)

3) Combinación  $U_4 = 0,9 \cdot D + 1,6 \cdot W$

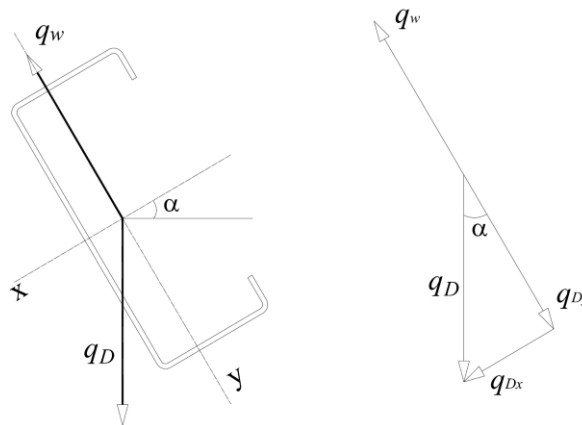


Figura 10. Determinación de cargas ultimas para la combinación  $U_4$

$$q_{ux} = 0,9 \cdot q_D \cdot \text{sen} \alpha$$

$$q_{uy} = 0,9 \cdot q_D \cdot \text{cos} \alpha - 1,6 \cdot q_w$$
(38)

En el anexo 1 se presenta un ejemplo de dimensionado utilizando la metodología hasta aquí descrita.

## CONCLUSIONES

En base al procedimiento presentado se puede obtener las siguientes conclusiones:

- El logro de una optimización en los tiempos de dimensionado o verificación de estos elementos estructurales cuando se tienen tabulados los valores de resistencias de diseño para perfiles comerciales.
- Los valores de resistencia de diseño alrededor del eje x-x (eje fuerte) para cargas gravitatorias son válidos cuando la unión del ala comprimida del perfil a la chapa de la cubierta se realiza con tornillos autoperforantes o autorroscantes colocados en el valle del plegado. En caso que no haya seguridad de que se ejecute de esta manera se deberá hacer un análisis particular.
- Cuando el ala comprimida no se encuentra arriostrada por la chapa, como es el caso en el que los tornillos se coloquen en la cresta de la misma, las resistencias de diseño se reducen considerablemente dando secciones mayores.
- Se puede observar que para cargas de viento donde el cordón inferior resulta comprimido, las resistencias obtenidas con la hipótesis de que la chapa unida en la forma descrita, no aporta resistencia al pandeo lateral es muy conservadora, dando correas de mayores dimensiones.
- Para trabajos posteriores se podría ampliar la tabla, agregando resistencias de diseño con las hipótesis de arriostramientos discretos al centro y tercio de la luz de cálculo.
- Se podría aplicar el mismo concepto para otros tipos de secciones como puede ser el perfil Z, usualmente utilizado en nuestro medio.

## Referencias

1. INTI CIRSOC. 2009. CIRSOC 303/09. Ejemplos de aplicación del Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío.
2. Gabriel Troglia. (2010). Estructura de acero con tubos y secciones abiertas conformadas en frío - Proyecto por estados limites. Editorial Universitat. Argentina
3. INTI CIRSOC. 2009. CIRSOC 303/09. Reglamento argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío.
4. Del Río, M y Busnelli, A. P. (2014). Dimensionado directo de perfiles conformados en frío. 23° Edición de Jornadas Argentina de Ingeniería Estructural. (indicar el número de páginas o bien la de inicio y final)

## ANEXO 1 - EJEMPLO DE DIMENSIONADO DE CORREA DE CUBIERTA

Material	
Tipo de Acero	F-24
Tensión de Fluencia	235 MPa
Modulo de elasticidad Longitudinal E	200000 MPa

Geometría	
Luz ( $l$ ) =	5.00 m
Separación ( $s$ ) =	1.00 m
Pendiente ( $\alpha$ ) =	13.00 °
Correa =	C 140 x 60 x 20 x 3.2

Cargas	
Peso Propio (D)	0.13 kN/m <sup>2</sup>
Sobrecarga ( $L_r$ )	0.35 kN/m <sup>2</sup>
Viento (W)	0.75 kN/m <sup>2</sup>

### Análisis de cargas

Las cargas uniformemente distribuidas sobre las correas son:

$$q_D = D \cdot s = 0.13 \text{ kN/m}$$

$$q_{L_r} = L_r \cdot s = 0.35 \text{ kN/m}$$

$$q_W = W \cdot s = 0.75 \text{ kN/m}$$

Las combinaciones analizadas son:

$$1.4 \cdot D \quad (1)$$

$$1.2D + 1.6L_r \quad (2)$$

$$0.9 \cdot D + 1.6 \cdot W \quad (3)$$

En la combinación (2) no se considera  $0.8 \cdot W$  por producir solicitaciones de flexión de sentido contrario a D y  $L_r$

Combinación (1)

$$q_{ux} = 1.4 \cdot q_D \cdot \text{sen } \alpha = 0.04 \text{ kN/m}$$

$$q_{uy} = 1.4 \cdot q_D \cdot \text{cos } \alpha = 0.18 \text{ kN/m}$$

Combinación (2)

$$q_{ux} = (1.2 \cdot q_D + 1.6 \cdot q_{L_r}) \cdot \text{sen } \alpha = 0.16 \text{ kN/m}$$

$$q_{uy} = (1.2 \cdot q_D + 1.6 \cdot q_{L_r}) \cdot \text{cos } \alpha = 0.70 \text{ kN/m}$$

Combinación (3)

$$q_{ux} = 0.9 \cdot q_D \cdot \text{sen } \alpha = 0.026 \text{ kN/m}$$

$$q_{uy} = 0.9 \cdot q_D \cdot \text{cos } \alpha - 1.6 \cdot q_W = -1.09 \text{ kN/m}$$

### Calculo de momento y corte

Combinación (1)

$$M_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy}^2 / 8 = 0.55 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux}^2 / 8 = 0.13 \text{ kNm}$$

$$V_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy} / 2 = 0.44 \text{ kNm}$$

$$V_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux} / 2 = 0.10 \text{ kNm}$$

Combinación (2)

$$M_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy}^2 / 8 = 2.18 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux}^2 / 8 = 0.50 \text{ kNm}$$

$$V_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy} / 2 = 1.74 \text{ kNm}$$

$$V_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux} / 2 = 0.40 \text{ kNm}$$

Combinación (3)

$$M_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy}^2 / 8 = 3.39 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux}^2 / 8 = 0.08 \text{ kNm}$$

$$V_{ux} = q_{uy} \cdot l_{uy} / 2 = 2.71 \text{ kNm}$$

$$V_{uy} = q_{ux} \cdot l_{ux} / 2 = 0.07 \text{ kNm}$$

### Verificación a flexión disimétrica

Combinación (1)

$$\frac{M_{ux}}{\phi \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi \cdot M_{ny}} = 0.11$$

(Verifica)

$$M_{ux} = 0.55 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0.13 \text{ kNm}$$

$$\phi \cdot M_{nx} = 8.08 \text{ kNm} \quad *$$

$$\phi \cdot M_{ny} = 2.80 \text{ kNm} \quad *$$

Combinación (2)

$$\frac{M_{ux}}{\phi \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi \cdot M_{ny}} = 0.45$$

(Verifica)

$$M_{ux} = 2.18 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0.50 \text{ kNm}$$

$$\phi \cdot M_{nx} = 8.08 \text{ kNm} \quad *$$

$$\phi \cdot M_{ny} = 2.80 \text{ kNm} \quad *$$

Combinación (3)

$$\frac{M_{ux}}{\phi \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi \cdot M_{ny}} = 0.94$$

(Verifica)

$$M_{ux} = 3.39 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0.08 \text{ kNm}$$

$$\phi \cdot M_{nx} = 3.71 \text{ kNm} \quad *$$

$$\phi \cdot M_{ny} = 2.80 \text{ kNm} \quad *$$

\* Valores de diseños obtenidos de la Tabla 3

### Verificación a corte

Combinación (1)

$$V_{ux} = 0.44 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{nx} = 54.52 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

$$V_{uy} = 0.10 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{ny} = 40.46 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

Combinación (2)

$$V_{ux} = 1.74 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{nx} = 54.52 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

$$V_{uy} = 0.40 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{ny} = 40.46 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

Combinación (3)

$$V_{ux} = 2.71 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{nx} = 54.52 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

$$V_{uy} = 0.07 \text{ kN} <$$

$$\phi \cdot V_{ny} = 40.46 \text{ kN} \quad (\text{Verifica}) \quad *$$

\* Valores de diseños obtenidos de la Tabla 3

### Verificación a flexión y corte combinados

Siendo la correa una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida las solicitaciones máximas a flexión y a corte no ocurren en la misma sección, Se verifica en la sección transversal ubicada al cuarto de la luz

#### Para flexión alrededor del eje x - x (alma paralela a y-y)

Combinación (1)

$$\begin{aligned} M_{uxl} &= 0,75 \cdot M_{ux} = 0.42 \text{ kNm} & \phi \cdot M_{nxo} &= 8.08 \text{ kNm} \\ V_{uxl} &= 0,50 \cdot V_{ux} = 0.22 \text{ kN} & \phi \cdot V_{nx} &= 54.52 \text{ kN} \\ \left( \frac{M_{uxl}}{\phi_b \cdot M_{nxo}} \right)^2 + \left( \frac{V_{uxl}}{\phi_v \cdot V_{nx}} \right)^2 &= 0.003 & & \text{(Verifica)} \end{aligned}$$

Combinación (2)

$$\begin{aligned} M_{uxl} &= 0,75 \cdot M_{ux} = 1.64 \text{ kNm} & \phi \cdot M_{nxo} &= 8.08 \text{ kNm} \\ V_{uxl} &= 0,50 \cdot V_{ux} = 0.87 \text{ kN} & \phi \cdot V_{nx} &= 54.52 \text{ kN} \\ \left( \frac{M_{uxl}}{\phi_b \cdot M_{nxo}} \right)^2 + \left( \frac{V_{uxl}}{\phi_v \cdot V_{nx}} \right)^2 &= 0.04 & & \text{(Verifica)} \end{aligned}$$

Combinación (3)

$$\begin{aligned} M_{uxl} &= 0,75 \cdot M_{ux} = 2.55 \text{ kNm} & \phi \cdot M_{nxo} &= 3.71 \text{ kNm} \\ V_{uxl} &= 0,50 \cdot V_{ux} = 1.36 \text{ kN} & \phi \cdot V_{nx} &= 54.52 \text{ kN} \\ \left( \frac{M_{uxl}}{\phi_b \cdot M_{nxo}} \right)^2 + \left( \frac{V_{uxl}}{\phi_v \cdot V_{nx}} \right)^2 &= 0.47 & & \text{(Verifica)} \end{aligned}$$

### Verificación en estado de servicio (Deformaciones)

Las combinaciones de servicio a analizar son

$$D + L_r \quad (1)$$

$$D + W \quad (2)$$

Combinación (1)

$$q_{xs} = (q_D + q_L) \cdot \text{sen } \alpha = 0.11 \text{ kN/m}$$

$$q_{ys} = (q_D + q_L) \cdot \text{cos } \alpha = 0.47 \text{ kN/m}$$

Combinación (2)

$$q_{xs} = q_D \cdot \text{sen } \alpha = 0.03 \text{ kN/m}$$

$$q_{ys} = q_D \cdot \text{cos } \alpha - q_W = -0.62 \text{ kN/m}$$

#### Para flexión alrededor del eje x - x

Siendo la sección totalmente efectiva el momento de inercia es el de la sección bruta

$$I_{xs} = 267.35 \text{ cm}^4 \quad (\text{Valor obtenido de la Tabla 3})$$

Para la combinación (1)

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ys} \cdot l_{uy}^4}{E \cdot I_{xs}} = 0.71 \text{ cm}$$

Para la combinación (2)

$$f_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{xs} \cdot l_{iy}^4}{E \cdot I_{xs}} = 0.95 \text{ cm}$$

Para flexión alrededor del eje y - y

En forma conservadora se puede adoptar el momento de inercia resultante para el estado de servicio y el momento de inercia determinado para estado ultimo difiere muy poco del correspondiente a la sección bruta:

$$I_{ys} = 41.83 \text{ cm}^4 \quad (\text{Valor obtenido de la Tabla 3})$$

Para la combinación (1)

$$f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ys} \cdot l_{ux}^4}{E \cdot I_{ys}} = 1.05 \text{ cm}$$

Para la combinación (2)

$$f_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ys} \cdot l_{ux}^4}{E \cdot I_{ys}} = 0.28 \text{ cm}$$

Flecha total

Para la combinación (1)

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 1.27 \text{ cm} \quad < L/200 = 2.50 \text{ cm} \quad (\text{Verifica})$$

Para la combinación (2)

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0.99 \text{ cm} \quad < L/200 = 2.50 \text{ cm} \quad (\text{Verifica})$$