

SECCIONES TUBULARES DE ALUMINIO PARA ESTRUCTURAS

Montanaro, María Inés; Rivas, Irene Elisabet
Ingenieras en Construcciones

Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

E-mail: mmontana@fio.unicen.edu.ar – irivas@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

El uso de barras de secciones tubulares de aluminio permite obtener estructuras más livianas. Dadas las características y las propiedades de estas secciones transversales una tipología estructural adecuada para su uso es la correspondiente a vigas reticuladas planas o entramados espaciales de luces importantes. Debido a que en las barras de las mencionadas estructuras son predominantes los esfuerzos axiales, en este trabajo se analiza el comportamiento de las mismas bajo solicitaciones de compresión. Para su análisis, dimensionado y verificación se siguen las especificaciones dadas por el Reglamento CIRSOC 701 que es el Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio.

La resistencia de diseño de una barra de sección tubular, sometida a compresión axial, está representada por el menor valor de los que resulten del análisis de los diferentes estados límites últimos: pandeo flexional, pandeo torsional y compresión uniforme en los elementos que componen la sección transversal. Se consideraron barras solicitadas a compresión de longitudes variando entre 0.25m y 2.00m. Los resultados obtenidos que permiten analizar el comportamiento de las secciones tubulares de aluminio y corroborar la conveniencia del uso de barras cortas.

ABSTRACT

The use of aluminum tubular sections allows for lighter structures. Given the characteristics and properties of these cross sections a structural type appropriate for use is that corresponding to lattice trusses flat or spatial light important. Because the bars of the above structures are predominant axial efforts, this paper analyzes the behavior of these solicitations under compression. For analysis, dimensioning and verification follow the specifications provided by Reglamento CIRSOC 701 (Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio).

The strength design of a tubular section column subjected to axial compression is represented by the lower value of obtained from analysis of ultimate limit states: flexural buckling, torsional buckling and uniform compression on the elements of section cross. The lengths of members vary from 0.25 m to 2.00 m. The behavior of the aluminum tubular sections is analyzed

INTRODUCCIÓN

La importancia de la fabricación de perfiles tubulares metálicos y su crecimiento se deben a muchos factores, de los cuales el principal está dado por la diversidad de usos en los que pueden ser aplicados. Es así que se puede decir que un uso difundido de barras de secciones tubulares se da en vigas reticuladas planas y en estructuras espaciales, pudiendo estas últimas ser de de simple curvatura, de doble curvatura o planas. Desde hace algunas décadas el empleo de las estructuras espaciales en la construcción ha tenido un importante desarrollo. Entre las causas que lo han motivado se puede mencionar como fundamental el hecho de que están concebidas bajo la perspectiva de conseguir un alto grado de prefabricación, aspecto que ha permitido importantes ahorros de mano de obra tanto en la fabricación como en el montaje, el cual se puede efectuar con gran rapidez y facilidad ya que puede hacerse el armado en tierra y levantarse el emparrillado entero una vez completo.

Todos los elementos necesarios en las estructuras espaciales se limitan a unos pocos tipos de barras y uniones sencillas de las mismas, adaptados a condiciones de carga y luces diversas. En particular las estructuras de cubiertas espaciales planas pueden ser consideradas como celosías tridimensionales, que se caracterizan por estar constituidas por elementos muy simples, barras y nudos, ensamblados. Las superficies envolventes de la malla están representadas por dos planos paralelos dispuestos horizontalmente, en los que se encuentran situados los nudos, y que permanecen unidos mediante barras diagonales.

Las secciones tubulares presentan una eficiente distribución del material frente al pandeo flexional. Además por tratarse de secciones cerradas tienen gran resistencia y rigidez frente a la torsión. Por lo expuesto tanto los perfiles tubulares circulares como los perfiles tubulares rectangulares y cuadrados son muy aptos para ser utilizados como elementos sometidos a compresión. Por otra parte, a igual tamaño, los perfiles tubulares tienen menor perímetro que las secciones abiertas de modo que la superficie expuesta al fenómeno de corrosión sea menor. En estructuras exteriores los tubos circulares ofrecen una menor resistencia a la acción del viento que las secciones abiertas.

Debido a que en las barras de las mencionadas estructuras son predominantes los esfuerzos axiles, en este trabajo se analiza el comportamiento de barras biarticuladas de aluminio de sección cuadrada y circular bajo solicitaciones de compresión axil. Para su análisis y verificación se siguen las disposiciones y especificaciones dadas por el Reglamento CIRSOC 701^[1] que es el Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio. El cual establece los requisitos mínimos para el proyecto, fabricación, montaje, protección, control de calidad y conservación de las estructuras de aluminio en Argentina adoptando como método de análisis el denominado Método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Dicho reglamento se divide en capítulos, siendo el Capítulo C el que contiene las reglas de diseño para el análisis de elementos de aluminio solicitados a esfuerzos de tracción, compresión, flexión y corte. Ese capítulo resulta ser el compendio de los lineamientos necesarios para efectuar la determinación de las diferentes resistencias de diseño y, por ende, se convierte en el cuerpo principal para la verificación y el dimensionado de todos los elementos que componen una estructura (columnas, vigas, elementos componentes de la sección transversal, etc.).

En particular el diseño de elementos a compresión axial se aborda en la Sección C.4 del mencionado reglamento e implica por un lado la verificación global de la barra y por otro la evaluación de posibles pandeos locales de los elementos que componen la sección transversal de la misma. En este trabajo se emplea esa sección del Reglamento ^[1] y sus Comentarios ^[2] para evaluar el comportamiento de barras de aluminio de sección tubular (circular y cuadrada) con luces variando entre 0.25 m y 2.00 m.

Para establecer las propiedades del material a utilizar es importante determinar el tipo de aleación a emplear. En perfiles con fines estructurales las aleaciones más usadas son las 6063 y 6061 (casi exclusivamente) ^[3]. Particularmente, en este trabajo, se han considerado elementos de aluminio usando la aleación 6061-T6. Se indica que T6 corresponde a la designación del temple indicando el método utilizado para conseguir propiedades estables: para esa letra T con número 6 corresponde a tratamiento térmico de solución y luego envejecido artificialmente.

SECCIONES TUBULARES SOMETIDAS A ESFUERZO AXIL DE COMPRESIÓN

El Reglamento CIRSOC 701^[1] da las especificaciones para el análisis y determinación de resistencias de diseño a compresión axial en el Capítulo C.4. Se debe considerar que en particular para secciones tubulares los elementos constitutivos de las columnas (barras analizadas, sometidas a compresión) se deben considerar como: elementos rigidizados ya que poseen dos apoyos paralelos a la dirección de la carga, al igual que los lados (ala – alma) de las secciones rectangulares y cuadradas.

La condición que garantiza la resistencia (no falla) de una estructura y de sus elementos estructurales, en el método de factores de carga y resistencia, se basa en que la resistencia requerida sea menor o igual que la resistencia real o de diseño. La expresión para determinar la resistencia de diseño P_d , de barras sometidas a compresión axial, está dada en función de la denominada tensión de diseño a compresión axial ϕF_{np} . A su vez esta última es función de la relación entre: la tensión de diseño global ϕF_{ng} y la tensión de diseño local a compresión ϕF_{nLi} de cada uno de los elementos que componen la sección transversal. De dicha relación surge que la tensión de diseño a compresión axial ϕF_{np} puede resultar igual a la tensión de diseño global ϕF_{ng} o bien igual a la tensión de diseño promedio de los elementos que componen la sección, donde la tensión en cada elemento se pondera de acuerdo con la relación entre el área del elemento y el área total de la sección.

$$P_d = A_g \phi F_{np} (10)^{-1} \quad (1)$$

$$\text{Si: } \phi F_{ng} \leq \phi F_{nLi} \quad \phi F_{np} = \phi F_{ng} \quad (2)$$

$$\text{Si: } \phi F_{ng} > \phi F_{nLi} \quad \phi F_{np} = \frac{\sum (A_{gLi} \phi F_{nLi} + A_{gpi} \phi F_{ng})}{A_g} \quad (3)$$

Siendo:

A_g el área bruta de la barra, A_{gLi} el área bruta de cada uno de los elementos de la sección transversal que pandean localmente, y A_{gpi} el área bruta de cada uno de los elementos de la sección transversal que no pandean localmente.

La esbeltez kL/r de barras comprimidas debe ser menor o igual a 200.

Teniendo en cuenta que los elementos que componen las secciones transversales tubulares son rigidizados, y de acuerdo con las características propias de los mismos, el Reglamento CIRSOC 701^[1] establece que para encontrar el valor de la resistencia de diseño ϕP_n , para el caso de barras sometidas a esfuerzos de compresión axial se deberán determinar, según corresponda:

- Resistencia de diseño a compresión para pandeo global flexional (siempre).
- Compresión uniforme en elementos planos rigidizados (válido en este análisis para las secciones tubulares cuadradas).
- Compresión uniforme en elementos curvos apoyados en ambos bordes, paredes de tubos circulares y ovalados.

Para la verificación al pandeo global de la barra se debe determinar el valor de su parámetro de esbeltez global λ_c . Este parámetro es función del factor de longitud efectiva k , de la longitud de la barra L , del radio de giro mínimo r , y de las características del material: tensión de fluencia a compresión del aluminio F_{yc} y módulo de elasticidad en compresión E . Además se utiliza un factor de resistencia ϕ_{cc} que varía en función del mencionado parámetro de esbeltez global.

El factor de longitud efectiva k depende de las uniones extremas de la barra a analizar. Para establecer el valor del mismo el Reglamento CIRSOC 701^[1] remite al Reglamento CIRSOC 301^[4]. Allí se establece que es el proyectista o diseñador estructural quien deberá evaluar las condiciones reales de los extremos para adoptar en cada situación el caso que pueda representar más exactamente el comportamiento de la barra.

Resistencia de Diseño a Compresión para Pandeo Flexional

La tensión de diseño para pandeo global flexional de barras de aluminio axialmente comprimidas se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{Para: } \lambda_c \leq S_1^* \quad \phi F_{ng} = \phi_{cc} F_{yc} \quad (4)$$

$$\text{Para: } S_1^* < \lambda_c < S_2^* \quad \phi F_{ng} = \phi_{cc} (B_c - D_c^* \lambda_c) \quad (5)$$

$$\text{Para } \lambda_c \geq S_2^* \quad \phi F_{ng} = \frac{\phi_{cc} F_{yc}}{\lambda_c^2} \quad (6)$$

siendo:

$$\lambda_c = \left(\frac{kL}{r} \right) \left(\frac{1}{\pi} \right) \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} : \text{el parámetro de esbeltez global} \quad (7)$$

B_c , C_c , D_c : constantes de pandeo que se obtienen de las Tablas: C.2-1 ó C.2-2 del Reglamento CIRSOC 701^[1].

S_1 y S_2 : factores que se determinan en función del módulo de elasticidad longitudinal, la tensión de fluencia a compresión y las constantes de pandeo.

ϕ_{cc} : un factor que es función del parámetro de esbeltez local.

r : el radio de giro de la sección transversal, respecto del eje de pandeo.

L : longitud no arriostrada de la barra.

F_{yc} : tensión de fluencia a compresión y E módulo de elasticidad a compresión del aluminio, valores que se obtienen de Tabla A.2-1^[1].

En relación al tratamiento de las secciones tubulares para la determinación de los pandeos locales, Reglamento CIRSOC 701^[1] tiene en cuenta, en la Sección C.4.6 y en la Sección C.4.9, lo siguiente: (a) Compresión uniforme en elementos de columnas – Elementos planos apoyados en ambos bordes (elementos rigidizados) y (b) Compresión uniforme en elementos de columnas – Elementos curvos apoyados en ambos bordes, paredes de tubos circulares y ovalados

Se indican a continuación las disposiciones de ambas secciones para los casos que se analizan en este trabajo:

(a) Compresión uniforme en elementos de columnas – Elementos planos apoyados en ambos bordes (elementos rigidizados). Comprenden las fórmulas a emplear para el estudio del pandeo local de los elementos de las secciones tubulares cuadradas (RHS). La tensión de diseño para pandeo local ϕF_{nL} puede ser:

$$\text{Para } b/t \leq S_1 \quad \phi F_{nL} = \phi_y F_{yc} \quad (8)$$

$$\text{Para } S_1 < b/t < S_2 \quad \phi F_{nL} = \phi_c \left[B_p - 1,6 D_p \frac{b}{t} \right] \quad (9)$$

$$\text{Para } b/t \geq S_2 \quad \phi F_{nL} = \frac{\phi_c k_2 \sqrt{B_p E}}{1,6 \frac{b}{t}} \quad (10)$$

siendo:

S_1 y S_2 : factores que se determinan en función del módulo de elasticidad longitudinal, la tensión de fluencia a compresión y las constantes de pandeo.

B_p , C_p , D_p constantes de pandeo que se obtienen de las Tablas: C.2-1 ó C.2-2 del Reglamento CIRSOC 701^[1].

$$\phi_y = 0,95 \text{ y } \phi_c = 0,85$$

k_1 , k_2 constantes que se obtienen de las Tablas: C.2-1 ó C.2-2 del Reglamento CIRSOC 701^[1].

b la distancia entre el borde no apoyado del elemento y el talón del chaflán o la curva, excepto si el radio interno de la esquina es mayor que 4 veces el espesor, en cuyo caso para calcular b el radio interno se deberá tomar igual a 4 veces el espesor, en cm. En la Figura 1 se ilustra la dimensión b . Si $r > 4t$, para calcular b usar $r = 4t$

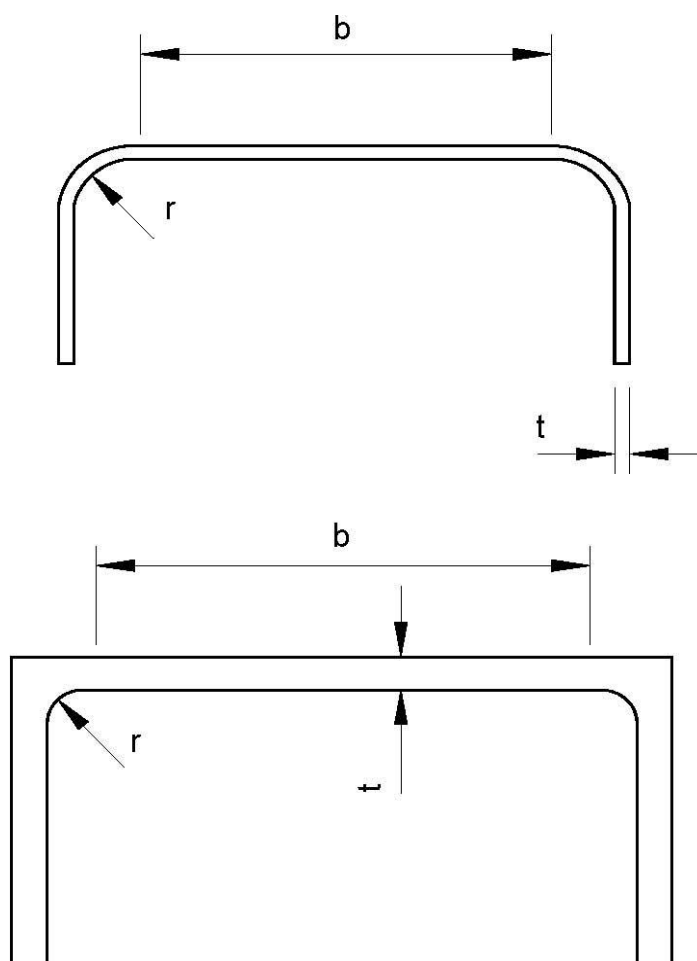


Figura 1: identificación de dimensiones de secciones tubulares cuadradas

En el rango inelástico, la resistencia última es igual a la resistencia al pandeo local, de manera que la resistencia de diseño se basa en la fórmula para pandeo local con una relación de esbeltez equivalente igual a $1,6 b/t$ y un coeficiente de resistencia ϕ_c .

El coeficiente 1,6 es aproximadamente el valor que se aplica a una placa simplemente apoyada sobre dos bordes longitudinales.

(b) Compresión uniforme en elementos de columnas – Elementos curvos apoyados en ambos bordes, paredes de tubos circulares y ovalados. La tensión de diseño para pandeo local ϕF_{nL} será:

$$\text{Para: } R_b/t \leq S_1 \quad \phi F_{nL} = \phi_y F_{yc} \quad (11)$$

$$\text{Para: } S_1 < R_b/t < S_2 \quad \phi F_{nL} = \phi_c \left[B_t - D_t \sqrt{\frac{R_b}{t}} \right] \quad (12)$$

$$\text{Para } R_b/t \geq S_2 \quad \phi F_{nL} = \frac{\phi_{cp} \pi^2 E}{16 \left(\frac{R_b}{t} \right) \left(1 + \frac{\sqrt{R_b/t}}{35} \right)^2} \quad (13)$$

siendo:

B_t , D_t constantes de pandeo que se obtienen de las Tablas: C.2-1 ó C.2-2 del Reglamento CIRSOC 701^[1].

S_1 : factor que se determina en función del módulo de elasticidad longitudinal, la tensión de fluencia a compresión y las constantes de pandeo.

$S_2 = R_b/t$ en la intersección de las Ecuaciones (12) y (13).

R_b el radio a mitad del espesor de un elemento de sección circular, o máximo radio a mitad del espesor de un elemento de sección ovalada.

$$\phi_y = 0,95 ; \phi_c = 0,85 ; \phi_{cp} = 0,85$$

En el caso de tubos con soldaduras circunferenciales, estas ecuaciones son aplicables solo para $R_b/t \leq 20$.

En los Comentarios ^[2] al Reglamento se establece que en teoría, la resistencia al pandeo elástico de una cáscara cilíndrica ideal cargada en compresión se puede determinar utilizando una relación de esbeltez equivalente igual a $4R_b/t$ en la fórmula para columnas. Sin embargo, la resistencia al pandeo de las cáscaras reales es afectada fuertemente por las imperfecciones geométricas y las condiciones de apoyo. Ensayos realizados indican que este efecto tiende a aumentar a medida que aumenta R_b/t . Las fórmulas de esta Sección toman en cuenta este efecto de las imperfecciones, y son conservadoras en comparación con los resultados de numerosos ensayos realizados sobre tubos y probetas cilíndricas (Clark y Rolf 1964, y Weingarten y otros 1965) en referencia ^[2]. Las fórmulas de esa Sección se basan en la resistencia crítica al pandeo local, ya que para estas cargas ocurren deformaciones severas.

CASOS ANALIZADOS

En este trabajo se consideran tubos de aluminio, de aleación 6061-T6, sometidos a esfuerzo axial de compresión. Se evaluaron barras tubulares de sección transversal circular y cuadrada, con longitudes comprendidas entre 0.25 m y 2.00 m.

Se determinaron los valores de resistencia de diseño a compresión, es decir la capacidad de carga, en función de la longitud de barras.

En lo referente a las características de las secciones tubulares se consideraron las dimensiones y propiedades provistas por la Tabla 21: Round Tubes y la Tabla 23: Square Tubes que se encuentran en el Capítulo IV del Aluminum Design Manual^[5], pero que además son secciones factibles de ser fabricadas en Argentina.

Si bien se evaluaron varios tubos de diferentes dimensiones, de su sección transversal, se presentan aquí gráficos con los resultados más significativos y generales.

En la Figura 2 se presentan las curvas correspondientes a la variación de la resistencia de diseño de barras de secciones tubulares: circulares y cuadradas, en función de la longitud de las mismas. Se adoptaron tubos cuyas áreas de la sección transversal resultan ser aproximadamente iguales, variando espesor y diámetro o altura según corresponda. Es de hacer notar que los primeros valores de resistencia se incluyen al solo efecto de completar las curvas, para evaluar su tendencia, pero que carecen de valor representativo como elementos estructurales para vigas o entramados espaciales, ya que el diámetro de los tubos circulares y la altura en los tubos cuadrados resultan ser de considerables dimensiones respecto de su longitud.

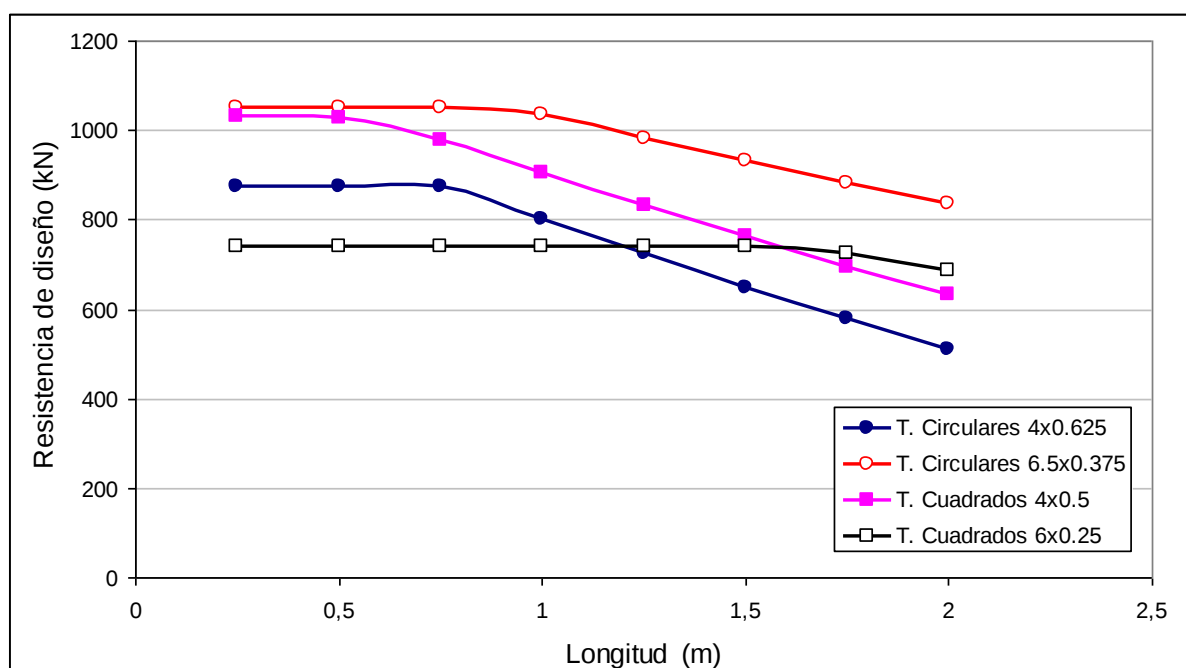


Figura 2: Resistencia de diseño en función de la longitud de barra

En la Figura 2 se puede observar que en algunos casos la curva presenta valores de resistencia de diseño constantes: entre 0.25 m y 0.5 m para tubos cuadrados (RT

4 x 4 x 0.500), entre 0.25 m y 0.75 m para tubos circulares (4.000 OD x 0.625 wall) y (6.500 OD x 0.375 wall) y entre 0.25 m y 1.50 m para tubos cuadrados (RT 6 x 6 x 0.250), los cuales se corresponden con el estado límite de pandeo local de los elementos componentes de la sección. Para el resto de las longitudes las curvas muestran, como es lógico, una disminución en la resistencia de diseño, correspondiendo estos valores definitorios al estado límite de pandeo flexional de la barra.

En las Figuras 3 y 4 se representa la variación de la resistencia de diseño en función del área de la sección transversal, la cual está relacionada directamente con el peso de la barra. Esto es para tubos circulares y cuadrados: con $R_b = b = 5.08$ cm (2") (Figura 3) y con $R_b = b = 10.16$ cm (4") (Figura 4). En todos los casos se consideró una columna biarticulada de 1.00 m de longitud.

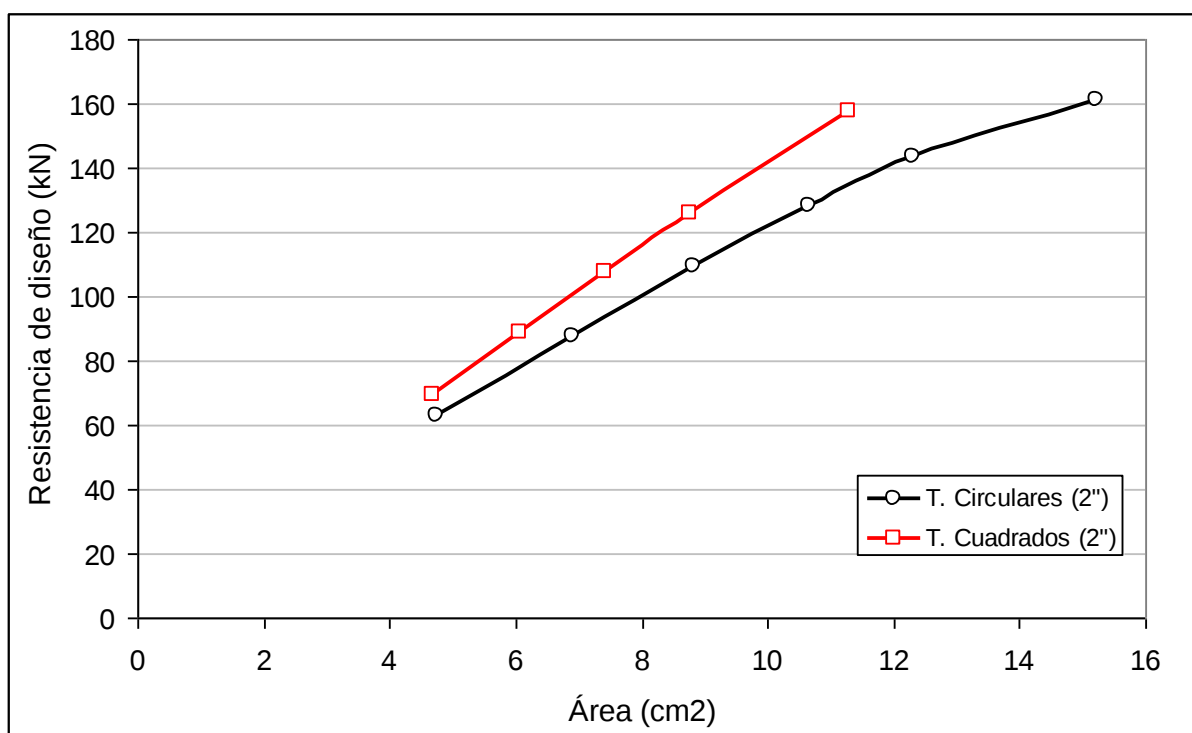


Figura 3: Resistencia de diseño en función del área, con $R_b = b = 5.08$ cm

Como era de esperar, en la Figura 3 se observa en ambas curvas una tendencia creciente de la resistencia de diseño adoptando mayores valores la correspondiente a tubos cuadrados. Se advierte que, para áreas iguales, la diferencia de los valores de resistencias de diseño entre ambas curvas, se va incrementando con el incremento del área.

En la Figura 4, que corresponde al caso en que $R_b = b = 10.16$ cm (4"), se observa que para secciones transversales con áreas superiores a 27 cm^2 la tendencia de las curvas coincide (en forma, no en valores) con las de la Figura 3. Es decir la resistencia de los tubos cuadrados resulta ser mayor y la diferencia se incrementa con el incremento del área. Mientras que para áreas inferiores cambia la tendencia, es decir los valores de resistencias de diseño resultan ser superiores para los tubos circulares.

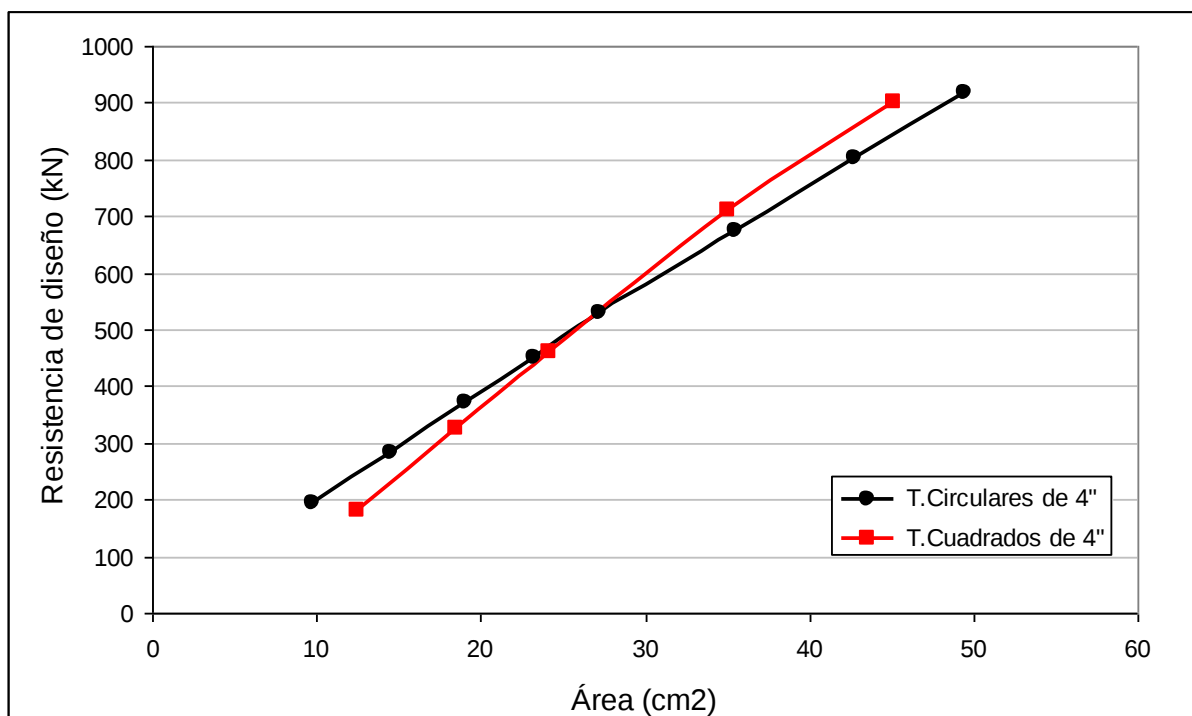


Figura 4: Resistencia de diseño en función del área, con $R_b = b = 10.16$ cm

En la Figura 5 se presenta, para tubos circulares, la variación de la relación entre la resistencia de diseño y el área de la sección transversal en función de la relación entre el radio a mitad del espesor de la sección (R_b) y el espesor del tubo.

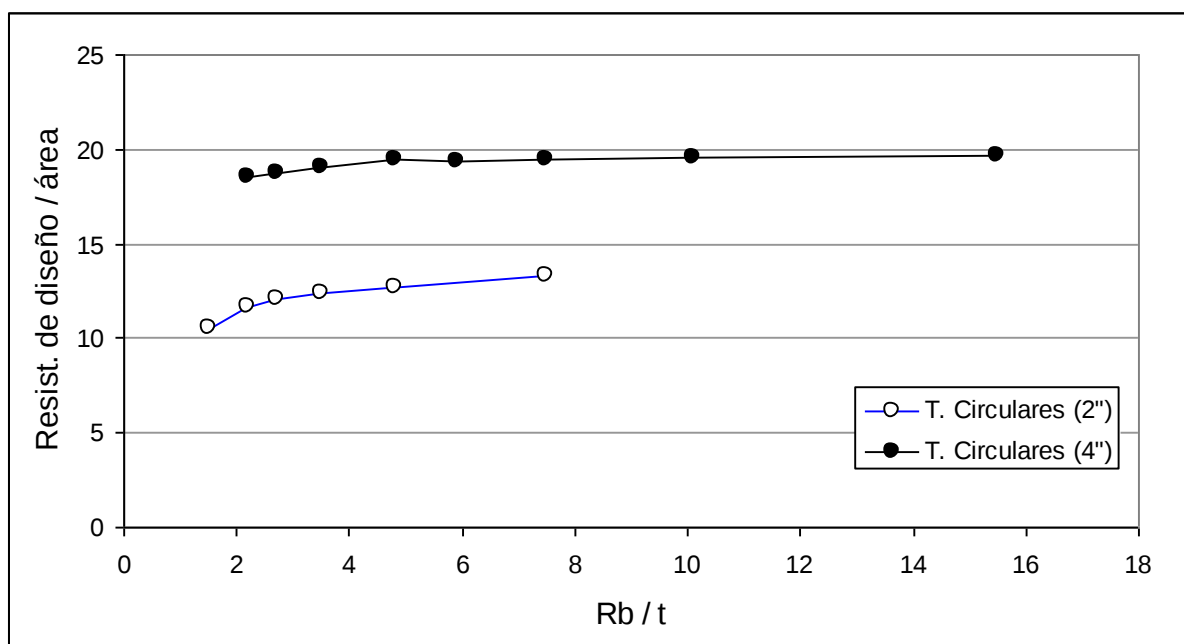


Figura 5: Tubos circulares: (Resistencia de diseño / área) en función de (R_b / t)

En la Figura 5 se observa que la curva presenta valores con tendencia creciente en el comienzo y luego continúa prácticamente en forma asintótica a una línea horizontal, esto resulta más notable para el tubo de 10.16 cm de diámetro.

En la Figura 6 se presenta, para tubos cuadrados, la variación de la relación entre la resistencia de diseño y el área de la sección transversal en función de la relación entre la dimensión b y el espesor del tubo.

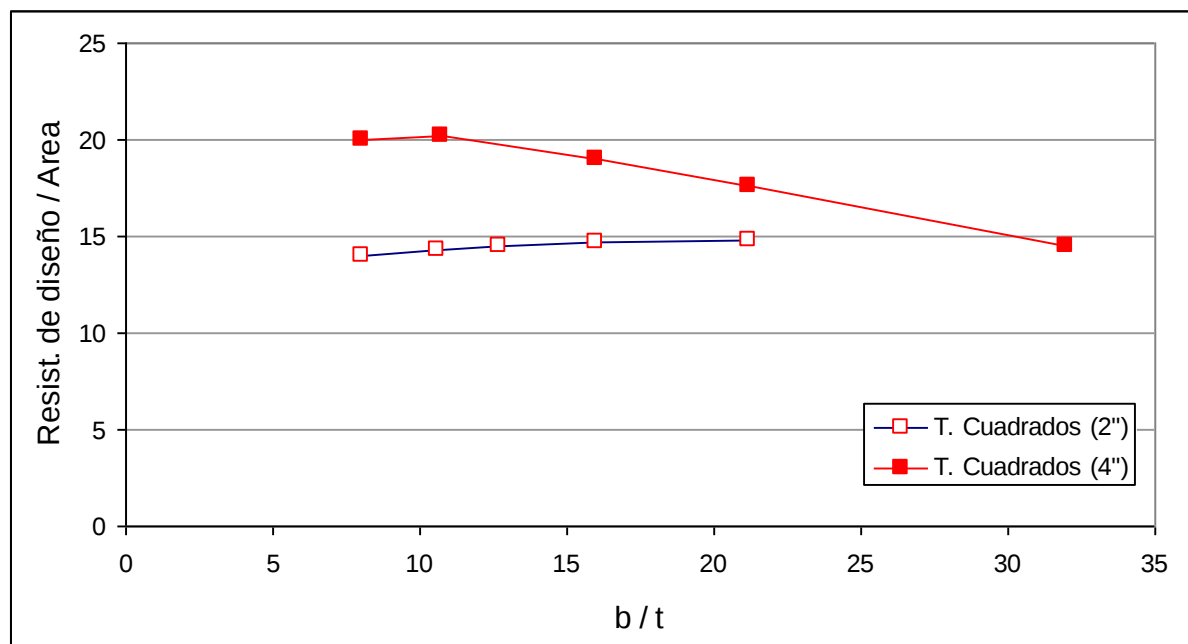


Figura 6: Tubos cuadrados: (Resistencia de diseño / área) en función de (b/t)

En la Figura 6 se puede observar una tendencia similar a la que se da para los tubos circulares (Figura 5) para los tubos cuadrados de 5.08 cm (2") de lado. Mientras que para los tubos de lado igual a 10,16 cm (4") se advierte que contrariamente, a lo que sucede en los casos antes mencionados, resultan valores inferiores de la relación resistencia de diseño/área con el aumento de la relación de lado b / espesor, esto puede estar influenciado por la aparición de los pandeos locales debido a los valores elevados de la relación b/t .

En la Figura 7 se presenta un gráfico general comparativo de la resistencia de diseño en función de la longitud de barra. El mismo surge de anexar, las resistencias de diseño para secciones tubulares, al resultado de estudios previos presentados en referencia [6]. Se consideraron barras biarticuladas, sometidas a esfuerzos de compresión axil, formadas por perfiles extrusados de aluminio de diferentes formas de sección transversal, pero con valores de áreas similares (34 cm^2 en promedio). Se efectuó la determinación de la resistencia de diseño para distintas longitudes que varían entre 1m y 6m.

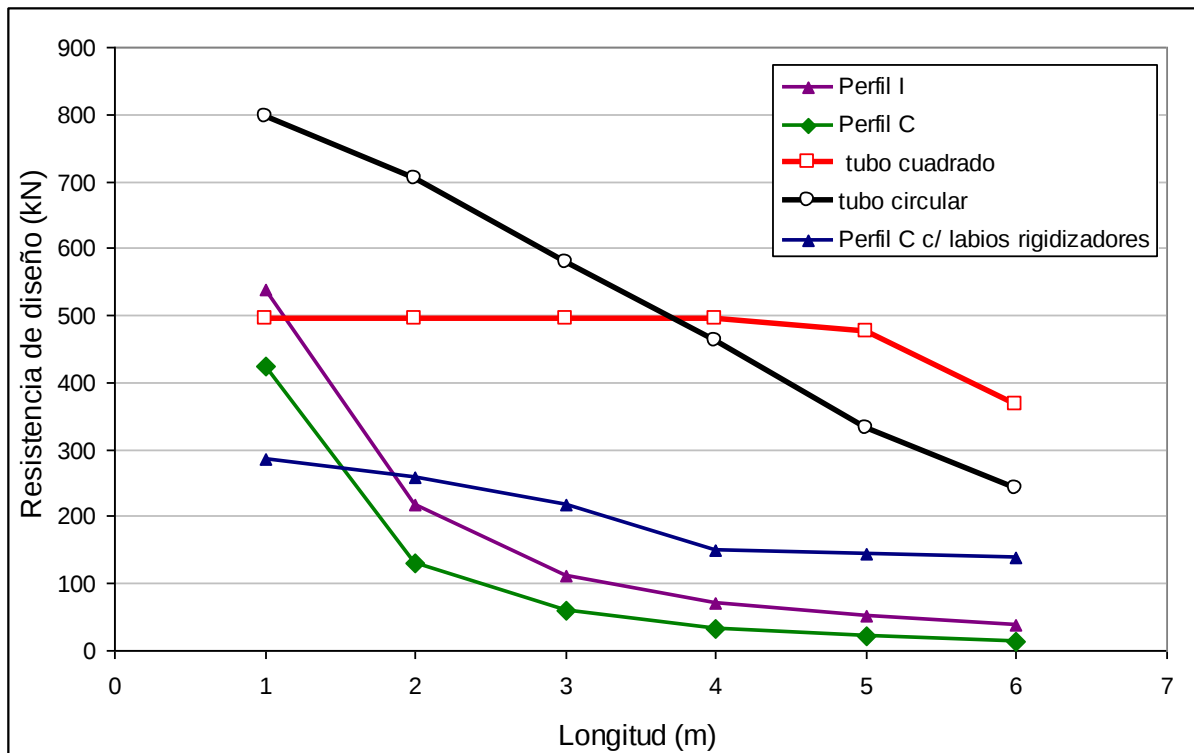


Figura 7: Resistencia de diseño versus longitud de barra

En la figura 7 se puede observar que en general los perfiles extrusados de aluminio presentan mayores resistencias para barras cortas. La barra tubo de sección circular es la que alcanza mayores resistencias hasta longitudes que van entre 3 m y 4 m, mientras que para longitudes mayores lo supera el tubo cuadrado. Con respecto a este último se puede decir que para longitudes de hasta aproximadamente 4 m, resulta determinante el estado limite de pandeo local frente al global, motivo por el cual presenta la misma resistencia de diseño para esas longitudes, esto se puede observar en el gráfico (zona en que la curva se mantiene constante). El resto de los perfiles presenta una caída abrupta de la resistencia, que principalmente se pone en evidencia para longitudes de barra que entre 1 m y 2 m de longitud de barra. Esa disminución de la resistencia no resulta ser tan marcada para los perfiles C con labios rigidizadores, siendo más uniforme su comportamiento. Se advierte que en las barras con sección de tubo circular es notable la diferencia entre los valores de resistencia de diseño para barras de 1m y los correspondientes a barras de 6 m.

CONSIDERACIONES FINALES

En el análisis a compresión, como era de esperar, la resistencia de diseño a sección constante, disminuye notablemente al aumentar la longitud. Esto refleja que las potencialidades de los elementos estructurales de aluminio, sometidos a esfuerzos de compresión, se desarrollan para elementos muy cortos acorde con lo que comúnmente se ve en la aplicación práctica del aluminio como material

estructural, ya que se lo emplea fundamentalmente para cubrir grandes luces mediante el uso de entramados estructurales de barras relativamente cortas.

El perfil que presenta mejor comportamiento a compresión es el tubo circular, prueba de ello es que resulta ser el más elegido para la ejecución de estereoestructuras.

Por otra parte el presente trabajo cumple, además, con el objetivo de difundir el Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio CIRSOC 701, y con ello el uso del aluminio como material estructural.

REFERENCIAS

- [1] Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio CIRSOC 701. 2008. www.inti.gov.ar/cirsoc.
- [2] Comentarios al Reglamento Argentino de Estructuras de Aluminio CIRSOC 701. 2008.
- [3] Kissell, R., Ferry, R., 2002. Aluminum Structures. A Guide to their Specifications and Design. Second Edition, editorial John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Reglamento Argentino de Estructuras de Acero. CIRSOC 301. 2005.
- [5] Aluminium Design Manual. Specifications & Guidelines for Aluminum Structures of the Aluminum Association. Parte I-B y II-B. Edición 2005.
- [6] Marchetti, M. G., Montanaro, M. I. y Rivas, I. E. "Performance de Perfiles de Aluminio Solicitados a Compresión". Memorias del Tercer Taller sobre el Aluminio y Metales Afines. Talma 2011.