



# **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PERFILES C Y Z DE FABRICACIÓN NACIONAL BASADA EN LA ESPECIFICACIÓN PARA EL DISEÑO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ACERO FORMADOS EN FRÍO, AISI 2007.**

■ **Rafael Ernesto Prado Bellorin**  
email: pradrafael@gmail.com  
Maturín, Venezuela

■ **Arnaldo Gutiérrez**  
email: arnaldo.arnaldogutierrez@gmail.com  
Facultad de Ingeniería Universidad Católica Andrés Bello  
Caracas-Venezuela

Fecha de Recepción: 27 de Octubre 2014  
Fecha de Aceptación: 6 de Diciembre de 2014

## **RESUMEN**

Este artículo está basado en el trabajo especial de grado presentado a la Universidad Católica Andrés Bello en Noviembre de 2014 y en él se plantea la evaluación de los perfiles C y Z fabricados en Venezuela y seleccionados para el estudio, basándose en la Especificación para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formados en Frío, AISI 2007.

Debido a que hasta ahora en Venezuela no existe una normativa que regule el análisis, diseño y montaje de estas secciones. La indagación tuvo la finalidad de desarrollar una metodología de cálculo que permitió determinar las propiedades geométricas, secciones efectivas, resistencias teóricas y de diseño de los perfiles C y Z fabricados en el país. La técnica aplicada para la recolección de los datos fue la revisión bibliográfica y es-

tos fueron analizados cuantitativamente. La intención de este estudio fue generar un basamento teórico – práctico que establezca los criterios para el proyecto (análisis y diseño) de este tipo de miembros estructurales.

Palabras clave:

# **STRUCTURAL EVALUATION OF NATIONAL MANUFACTURING AND Z PROFILES BASED ON THE SPECIFICATION FOR THE DESIGN OF STRUCTURAL MEMBERS OF COLD FORMED STEEL , AISI 2007 .**

---

## **ABSTRACT**

The present research had the purpose of evaluate the structural sections C and Z manufactured in Venezuela, based on the North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI 2007. The investigation was intended to develop a calculation methodology that allowed determine geometrical properties, effective sections, nominal strength and design of the C and Z sections manufactured in the country. The technique used for data collection was the literature review and these were analyzed quantitatively. The intent of this study was to generate a theoretical basement- practical criteria established for the project (analysis and design) of this type of structural members.

Keywords:

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de laminación en frío tiene sus orígenes en Inglaterra en el año de 1784, cuando Henry Cort fabricó unas láminas corrugadas de acero de pequeño espesor para techar construcciones. El uso de miembros de acero formados en frío para la fabricación de viviendas nace en Estados Unidos e Inglaterra en el año de 1850, su uso era en gran medida experimental y limitado a estructuras básicas.

El sistema de piso del Hospital Virginia Baptist, construido alrededor del año 1925 en Lynchburg, Virginia, es una de las primeras aplicaciones registradas de los miembros de acero formados en frío, en él se utilizaron perfiles tipo canal; también en el año 1933 durante un evento realizado en Chicago (Chicago Century of Progress Exposition) destacó una “Casa del Futuro” realizada completamente en acero y elaborada por el arquitecto Howard T Fisher [11].

El Instituto Americano de Hierro y Acero (AISI) fue fundado originalmente en el año 1855 como la Asociación Americana del Hierro, este organismo observó la necesidad de estandarizar el diseño de los miembros formados en frío en las construcciones. En febrero de 1939 los comités de Códigos de Edificaciones de la AISI patrocinaron un proyecto de investigación de la Universidad de Cornell, para desarrollar la información referente a las especificaciones de diseño de perfiles de acero formados en frío [11].

George Winter, frecuentemente llamado “El Padre de los Miembros de Acero Formados en Frío”, realizó esfuerzos importantes en conjunto con la Universidad del Cornell en la investigación de este tipo de componentes. Winter publicó cuatro reportes de investigación para la AISI, en los años 1940, 1943, 1944 y finalmente en el año de 1946 se emitió la primera edición de la AISI Especificación para el Diseño de Miembros de Acero Estructural de Calibre Ligero (Specification for the Design of Light Gage Steel Structural Members). A partir de esta fecha y de manera periódica estos Documentos son revisados y actualizados, según los avances técnicos y conclusiones de las continuas investigaciones realizadas por diversas instituciones. En el año 2007 se realizó la más reciente publicación de la Especificación Norteamericana para el Diseño de Miembros de Acero Estructural Formados en Frío (North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members; and 2007 Edition), la cual reúne por primera vez las experiencias norteamericanas, canadiense y mexicanas [11].

Desde el año 1975 en Venezuela hay intentos empíricos de fabricar perfiles formados en frío; en la actualidad, hay un grupo de empresas y talleres metalmeccánicos que producen diversos tipos de secciones por este método, en especial las C y Z. En lo que respecta a los inicios de la utilización de este tipo de miembros en el país, no existen registros documentales que indiquen fechas y obras donde se emplearon.

Con el objetivo de reducir los costos y aumentar la rapidez en las construcciones, un número importante de empresas e ingenieros del país han optado por utilizar perfiles formados en frío en sus proyectos, lo que ha generado un incremento en la fabricación y venta de estas piezas, en especial los miembros de sección C y Z, que son empleados como correas para cubierta de galpones y otras estructuras con techos livianos; sin embargo, hasta estos momentos, en Venezuela no existe una normativa que regule el diseño, la fabricación y el montaje de estos perfiles, por lo que algunos profesionales aplican las estipulaciones de la Norma Covenin – Mindur 1618-1998 Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites para el proyecto de estructuras con miembros de acero formados en frío, obviándose o desconociéndose que en el alcance de ese documento se excluyen los perfiles C y Z.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto se consideró necesario evaluar estructuralmente los perfiles C y Z de fabricación nacional, basada en la Especificación para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formados en Frío, AISI 2007, con el objeto de generar un basamento teórico - práctico que establezca los criterios para el proyecto (análisis y diseño).

## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Evaluar estructuralmente los perfiles C y Z de fabricación nacional, basadas en la Especificación para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formados en Frío, (AISI S100- 2007), para generar basamentos teóricos - prácticos que establezcan los criterios para el proyecto (análisis y diseño) de estructuras con este tipo de perfiles.

## 3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En Venezuela se ha incrementado notablemente la comercialización y utilización de miembros de acero

laminados en frío, en especial los de las secciones C y Z como correas de cubiertas de techo. A pesar de esto y que en otros países se han realizado investigaciones y publicado especificaciones que regulan la fabricación y el diseño de este tipo de perfiles; en el país, hasta estos momentos, este tema ha sido poco estudiado, lo que resalta el desarrollo de esta investigación, donde se evaluó el comportamiento estructural de los perfiles C y Z fabricados en Venezuela y permitió generar un basamento teórico - práctico que establezca los criterios para el proyecto (análisis y diseño) de estructuras elaboradas con estos miembros y a su vez proporciona un antecedente para el desarrollo de una normativa Venezolana que regule el diseño de miembros estructurales de acero formados en frío de secciones C y Z.

### 3.1 Alcance de la Investigación.

Se planteó en esta investigación evaluar estructuralmente la capacidad a flexión y compresión de los perfiles C y Z formados en frío, fabricados en Venezuela, siguiéndose las estipulaciones de la Especificación para el Diseño de Miembros Estructurales de Acero Formados en Frío, AISI 2007.

No está dentro del alcance de este estudio el comportamiento de las secciones compuestas resultantes de la unión de dos o más perfiles C y Z, tampoco fueron tratadas las conexiones soldadas ni atornilladas.

No se pretende generar juicios de valores con respecto a la calidad en la fabricación de los perfiles C y Z elaborados en Venezuela.

### 3.2 Limitaciones de la Investigación.

La fabricación, proyecto y montaje de los perfiles de acero formados en frío son temas muy poco estudiados en Venezuela, la mayoría de las bibliografías relacionadas con la investigación proviene de autores e instituciones de Norteamérica y Europa, por lo cual el material disponible está en idiomas distintos al Castellano, haciéndose necesario emplear un tiempo importante de la indagación a la lectura, traducción y análisis de los textos.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Perfiles de Acero Formados en Frío.

Los perfiles de acero formados en frío se obtienen de láminas planas de acero a las cuales se aplican

operaciones de conformado a temperatura ambiental, en lugar de los procesos a altas temperaturas usados para la fabricación de los perfiles estructurales laminados pesados, usuales en la construcción de edificios metálicos [6].

En el proceso de doblado en frío, una delgada lámina plana de acero se hace pasar a través de una serie de rodillos, cada uno de los cuales la va curvando progresivamente, hasta lograr la forma final, con el tamaño y características deseadas [6].

El proceso de laminación en frío tiene sus orígenes en Inglaterra en el año de 1784, cuando Henry Cort fabricó unas láminas corrugadas de acero de pequeño espesor para techar construcciones.

Las secciones de lámina delgada ofrecen ciertas ventajas con relación a los perfiles laminados convencionales, obteniéndose [6]:

- Secciones livianas para miembros estructurales tales como vigas y columnas que resisten cargas limitadas en luces cortas.
- Configuraciones no usuales en la práctica, en forma rápida y económica.
- Aceptable resistencia para relaciones considerables de anchura / espesor.
- Paneles portantes que soportan cargas axiales de compresión, o conductos de tuberías y alcantarillas.
- Entrepisos y techos que resisten fuerzas normales a su plano y además trabajan como diafragmas cargados en su plano.

#### 4.1.1 Características de los Perfiles de Acero Formados en Frío.

- Las secciones son formadas a base de láminas o placas de acero cuyos espesores son menores a 25.4 mm [6].
- Ausencia de las tensiones residuales que presentan los perfiles laminados en caliente, debido al proceso de enfriamiento [6].
- No hay engrosamiento de los espesores en las esquinas de las secciones, debido a los filetes por los radios de curvatura entre alas y almas, producto de la laminación [6].
- El acero de los perfiles doblados en frío con valores altos de relación anchura / espesor presentan curvas tensión – deformación que se adoptan tanto al tipo de cedencia aguda o gradual como se muestra en la figura 1.1 [6].

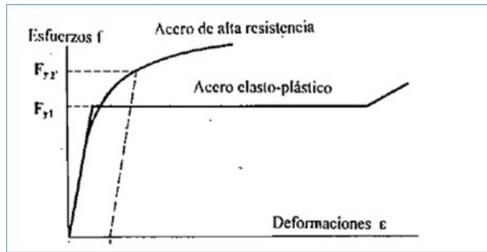


Figura 1.1. Curva Tensión – Deformación del Acero Estructural. Temas Especiales de Estructuras Metálicas. Estados Límites LRFD. María Fratelli [6].

- El doblado en frío produce en las esquinas un incremento de la tensión de cedencia del acero con una disminución del límite de proporcionalidad y de la ductilidad del material. Asimismo, las partes planas muestran un incremento del punto de cedencia debido a la extrusión entre rodillos o al embutido durante el proceso de conformación de las secciones. El trabajo en frío afecta las propiedades mecánicas del material, dependiendo de los siguientes factores [6]:
  - El tipo de acero.
  - El tipo de tensión
  - La orientación de las tensiones con respecto a la del trabajo en frío (transversal o longitudinal).
  - La relación  $F_u/F_y$  (Tensión de agotamiento resistente / Tensión de cedencia).
  - La relación  $R/t$  (Radio de curvatura interno / espesor).
  - La intensidad del trabajo en frío.

#### 4.1.2 Formas y Perfiles.

La figura 1.2 muestra algunos perfiles típicos de secciones de lámina delgada doblados en frío. Las formas simples más comunes son los canales, las Z, los ángulos, los sombreros y los tubos estructurales que se indican en los esquemas a) a e) [6]:

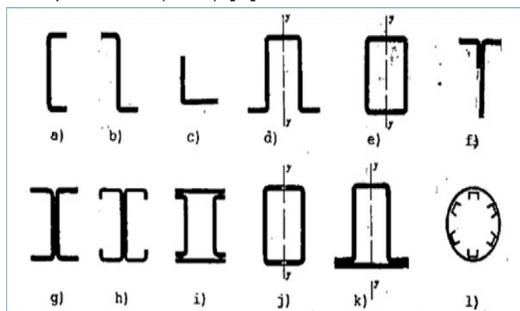


Figura 1.2. Formas típicas simples y compuestas de perfiles de lámina delgada doblados en frío. Temas Especiales de Estructuras Metálicas. Estados Límites LRFD. María Fratelli [6].

#### 4.2 Propiedades de las secciones C y Z.

Para determinar las propiedades geométricas de los perfiles de lámina delgada se aplica el método lineal que consiste en considerar un eje que pasa por el centro del perfil como si este estuviera totalmente recto y el espesor fuera constante [9].

El área se calcula considerándose la longitud de desarrollo de la lámina multiplicada por el espesor [9].

$$A = \sum L * t$$

Para determinar las secciones de inercia del perfil se considera cada eje de la lámina y las diferentes fórmulas involucran el espesor solo al final del procedimiento [9].

El momento de inercia de la sección,  $I$ , se obtiene de:

$I = I' * t$ , donde  $I'$  es el momento de inercia del centro de línea del elemento. El módulo de sección  $S$  es calculado dividiendo  $I$  o  $I' * t$  sobre la distancia que hay del eje neutro a la fibra extrema, no al centro de línea del elemento extremo [3].

Para las dimensiones de  $x$ ,  $y$  o  $r$ , se obtiene directamente del método lineal y no involucra la dimensión del espesor. Se debe tener en cuenta el ancho del ala a compresión,  $w$ , reducido a una anchura efectiva,  $b$ , para calcular la longitud total efectiva de cada tramo del elemento [3].

Con los valores  $I_x$ ,  $I_y$  e  $I_{xy}$  el momento de inercia con respecto al eje principal de la sección puede ser calculado con la siguiente fórmula [3]:

$$I_{\max/\min} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2}$$

Donde  $I_x$  e  $I_y$  son los momentos de inercia de la sección alrededor de los eje  $x$  y  $y$ , e  $I_{xy}$ , es el producto de la inercia [3].

El ángulo que se forma entre el eje  $x$  y el principal eje menor es [3]:

$$q = \frac{p}{2} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2I_{xy}}{I_x - I_y} \right) \text{ (en radianes)}$$

Para determinar las propiedades de la sección completa se debe considerar lo siguiente:

- Se supone que las alas tienen esquinas rectas para el cálculo de las propiedades, tales como la inercia.
- Siempre se trabaja con las dimensiones al centro de línea del elemento.
- La tensión teórica calculada por este procedimiento es suficientemente preciso para una serie

de iteraciones con pequeñas relaciones de radios de curvatura y espesor.

#### 4.2.1 Propiedades de la sección C

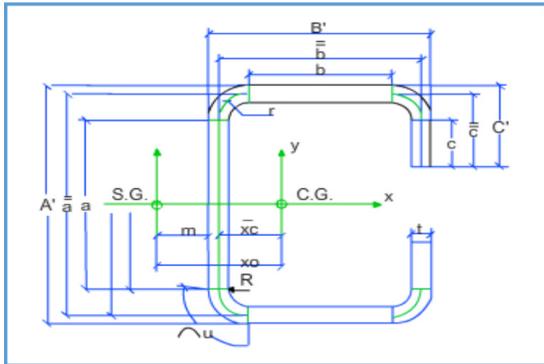


Figura 2.1. Propiedades de las secciones C formadas en frío. Diseño en lámina delgada 1. Según AISI S100-07. Zulma Pardo [9].

a. Parámetros Básicos [3].

$$a = A' \square (2r + t)$$

$$\square = A' \square t$$

$$b = B' \square r + t / 2 + \square (r + t / 2) \square$$

$$\square = B' [t / 2 + \square t / 2] \quad \text{Donde } \square = 1.0$$

$$c = \square [C' \square (r + t / 2) \square]$$

$$c = \square [C' \square t / 2]$$

$$u = \square r / 2 = 1.57r$$

b. Área de la sección transversal [3].

$$A = t [a + 2b + 2u + a (2c + 2u)]$$

c. Momento de inercia alrededor del eje x [3].

$$I_x = 2t \left\{ \begin{aligned} & \left[ 0.0417a^3 + B[a/2 + r]^2 + u[a/2 + 0.637r]^2 + 0.149r^3 \right] \\ & + \alpha \left[ 0.0833c^3 + \frac{c}{4}(a-c)^2 + u \left( \frac{a}{2} + 0.637r \right)^2 + 0.149r^3 \right] \end{aligned} \right\}$$

d. Distancia entre el centro de gravedad y el eje central del alma [3].

$$\bar{x}_c = \frac{2t}{A} \{ b(b/2 + r) + u(0.363r) + \alpha [u(b + 1.637r) + c(b + 2r)] \}$$

e. Distancia entre el centro de gravedad y el borde externo del alma [3].

$$\bar{X} = \bar{x}_c + \frac{t}{2}$$

f. Momento de inercia alrededor del eje y [3].

$$I_y = 2t \left\{ \begin{aligned} & \left[ B(b/2 + r)^2 + b^3/12 + 0.356r^3 \right] \\ & + \alpha \left[ c(b + 2r)^2 + u(b + 1.637r)^2 + 0.149r^3 \right] \end{aligned} \right\} - A \bar{x}_c^2$$

g. Distancia entre el centro de corte y el eje central del alma [3].

$$m = b \left[ \frac{3a^2 b + \alpha c (6a^2 - 8c^2)}{a^3 + 6a^2 b + \alpha c (8c^2 - 12ac + 6a^2)} \right]$$

h. Distancia entre el centro de gravedad y el neutro de corte [3].

$$x_1 = -\bar{x}_1 + m \quad (\text{El signo menos indica que el } x_1 \text{ es medido en dirección de negativa})$$

i. Constante torsional de Saint Venant [3].

$$J = \frac{t^3}{3} [a + 2b + 2u + a (2c + 2u)]$$

j. Coeficiente de alabeo [3].

$$C_w = \frac{\frac{a^2 b t}{12} \left[ \frac{2a^2 b + 3a^2 b + \alpha \left[ \frac{48c^4 + 112bc^3 + 8ac^3 + 48abc^2}{120c^2 + 12a^2 c^2 + 12a^2 bc + 6a^2 c} \right]}{6a^2 b + \alpha + \alpha 2c^2} - \alpha 14ac \right]}{12}$$

k. Paramento  $\beta_w$  [3].

$$\beta_w = - \left[ \frac{t x_c a^2}{12} + t x_c^3 a \right]$$

l. Paramento  $\beta_f$  [3].

$$\beta_f = \frac{t}{2} \left[ (b - x_c)^2 - x_c^2 \right] + \frac{t a^2}{4} \left[ (b - x_c)^2 - x_c^2 \right]$$

m. Paramento  $\beta_f$  [3].

$$\beta_f = \alpha \left\{ 2a \left[ (b - x_c)^2 - x_c^2 \right] + \frac{2}{3} (b - x_c) \left[ \frac{a}{2} \right]^2 - \left[ \frac{a}{2} - c \right]^2 \right\}$$

n. Parámetro utilizado en la determinación del momento elástico crítico [3].

$$j = \frac{1}{2I_y} (\beta_w + \beta_f + \beta_f) - x_c$$

### 4.6 Propiedades de la sección Z.

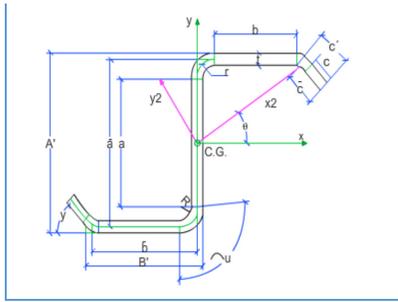


Figura 2.2. Propiedades de las secciones Z formadas en frío. Diseño en lámina delgada 1. Según AISI S100-07. Zulma Pardo [9].

a. Parámetros Básicos [3].

$$\begin{aligned} a &= A' - (2r + t) \\ \bar{a} &= A' - t \\ b &= B' - [t/2 + \alpha(r+t/2)\tan(\gamma/2)] \\ \bar{b} &= B' - [t/2 + (\alpha r/2)\tan(\gamma/2)] \\ c &= a[C' - (r+t/2)\tan(\gamma/2)] \\ \bar{c} &= a[C' - (t/2)\tan(\gamma/2)] \\ u_1 &= \pi\gamma/2 = 1.57\gamma \\ u_2 &= \gamma\pi \\ \text{Donde } \alpha &= 1.0 \\ &\text{y En radianes} \end{aligned}$$

b. Área de la sección transversal [3].

$$A = t [a + 2b + 2u_1 + a (2c + 2u_2)]$$

c. Momento de inercia alrededor del eje x [3].

$$I_x = 2t \left[ \frac{0.0417a^4 + b[a(2+r)]^2 + u_1[a(2+0.637r)]^2 + 0.149r^4}{12} + \left[ \frac{\gamma + \text{seno}\gamma \cos\gamma}{2} - \frac{\text{seno}^2\gamma}{\gamma} \right] \frac{a^3}{12} + \left[ \frac{r \text{seno}\gamma}{2} + \frac{c^3 \text{seno}^3\gamma}{12} + c \left( a/2 + r \cos\gamma - \frac{c}{2} \text{seno}\gamma \right)^2 \right] \right]$$

d. Momento de inercia alrededor del eje y [3].

$$I_y = 2t \left[ \frac{b[b(2+r)]^2 + \frac{b^3}{12} + 0.356r^4}{12} + \left[ \frac{a}{2} + r(1 + \text{seno}\gamma) + \frac{c}{2} \cos\gamma \right] \frac{c^3 \cos^3\gamma}{12} + \left[ \frac{a}{2} + r(1 - \text{seno}\gamma) + \frac{c}{2} \cos\gamma \right] \frac{c^3 \text{seno}^3\gamma}{12} + \left[ \frac{\beta - \text{seno}\gamma \cos\gamma}{2} \right] \frac{[1 - \cos\gamma]^2}{12} \right]$$

e. Producto de la inercia [3].

$$I_{xy} = 2t \left[ \frac{b[a(2+r)]b[2+r] + 0.5r^3 + 0.285ar^3}{12} + \left[ \frac{c}{2} + r(1 + \text{seno}\gamma) + \frac{c}{2} \cos\gamma \right] \left[ \frac{a}{2} + r \cos\gamma - \frac{c}{2} \text{seno}\gamma \right] \frac{c^2 \text{seno}\gamma \cos\gamma}{12} + \left[ \frac{a}{2} + r(1 - \text{seno}\gamma) + \frac{c}{2} \cos\gamma \right] \left[ \frac{a}{2} + r \text{seno}\gamma - \frac{c}{2} \text{seno}\gamma \right] \frac{c^2 \text{seno}\gamma \cos\gamma}{12} + \left[ \frac{\beta - \text{seno}\gamma \cos\gamma}{2} \right] \left[ \frac{a}{2} + \frac{r \text{seno}\gamma}{2} \right] \right]$$

f. Angulo entre el eje axial y el menor eje principal (en radianes) [3].

$$q = \frac{p}{2} + 0.5 \arctan \left[ \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x} \right]$$

g. Momento de inercia alrededor del eje x2 [3].

$$I_{x2} = I_x \cos^2 q + I_y \text{seno}^2 q - 2I_{xy} \text{seno} q \cos q$$

h. Momento de inercia al rededor del eje y2 [3].

$$I_{y2} = I_x \text{seno}^2 q + I_y \cos^2 q - 2I_{xy} \text{seno} q \cos q$$

i. Radio de giro de alguno de los ejes [3].

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

j. Radio de giro alrededor del eje x2 [3].

$$r_{min} = \sqrt{I_{x2}/A}$$

k. Constante torsional de Saint Venant [3].

$$J = \frac{t^3}{3} [a + 2b + 2u_1 + a (2c + 2u_2)]$$

l. Coeficiente de alabeo [3].

$$C_w = \frac{t}{12} \frac{\left[ \frac{b^3}{12} (4c^3 + 16bc^2 + 6a^2c + 4c^2bc + 6ac^3) + 6abc^2(a+b) \frac{2a \text{seno}\gamma + a \cos\gamma}{2} + 4abc^2(a+b) \frac{2a \text{seno}\gamma + a \cos\gamma}{2} + c \left[ \frac{a^3}{12} + 4a^2b - 8a^2c + a^2c - 16b^3 - 4b^2c \cos^2\gamma \right] \right]}{a + 2b + \alpha c}$$

### 4.3 Historia de la Especificación AISI.

El uso del acero en frío en los miembros usados para la construcción se inició en la década de 1850. En los Estados Unidos, la primera edición de la Especificación para el Diseño de Miembros de Acero Estructural de Calibre Ligero fue publicado por el American Iron and Steel Institute (AISI) en 1946. Esta primera especificación del Método de las Tensiones Admisibles (ASD) se basó en el trabajo de investigación patrocinado por el AISI en la Universidad de Cornell, bajo la dirección del Profesor George Winter y posteriormente fue revisado en 1956, 1960, 1962, 1968, 1980, y 1986 para reflejar el desarrollo técnico y los resultados de las continuas investigaciones

desarrolladas por las Universidad de Cornell y otras. En 1991, AISI publica la primera edición de la Especificación de Diseño por Factor de Carga y Resistencia (LRFD) desarrollada en la Universidad de Missouri de Rolla y en la Universidad de Washington bajo la dirección de Wei-Wen Yu y Theodore V. Galambos (AISI, 1991). Ambas especificaciones ASD y LRFD se combinaron en una única especificación en el año de 1996 (AISI, 1996) [12].

En 2001, la primera edición de la Especificación Norteamericana para el Diseño de Miembros de Acero Estructural Formados en Frío fue desarrollado por un esfuerzo conjunto del Comité de Especificaciones de la AISI, el Comité Técnico de Miembros de Acero Estructural Formados en Frío de la Canadian Standards Association (CSA) y Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO) en México (AISI, 2001). Incluye los métodos ASD y LRFD para los Estados Unidos y México juntos con el Método de Diseño de Estados Límites (LSD) de Canadá. Esta Especificación de América del Norte ha sido acreditada por el American National Standard Institute (ANSI) como un estándar ANSI para reemplazar Especificación AISI de 1996 y el CSA 1994. A raíz de la utilización con éxito desde año 2001 de la Especificación Norteamericana, en el año 2007 fue revisada y ampliada [12]. Esta actualización incluye las siguientes modificaciones e incorporaciones [9]:

- Incorporación del Método Directo de Resistencia.
- Introducción del Apéndice para Análisis de Segundo Orden.
- Nuevas fórmulas para el cálculo de la anchura efectiva de elementos sin rigidizar y rigidizados en el extremo, considerándose el gradiente de tensiones.
- Revisión de las provisiones para el diseño de miembros a compresión con rigidizadores intermedios.
- Incorporación de nuevas expresiones para el análisis del pandeo distorsional.
- Introducción de nuevas provisiones para flexión combinada y cargas torsionales.
- Aparición de nuevas expresiones para el análisis de pandeo distorsional.
- Durante el año 2010 aparece un nuevo suplemento a la Especificación AISI 2007, que siguió al primer suplemento de 2008, en ella se presentó lo siguiente [9]:
- Incorporación de nuevas secciones para elementos solicitados a compresión uniforme restringidos con conexiones intermitentes.

- Cambio en las distancias al borde de los agujeros.
- Introducción de nueva expresión para tenso-cortante.
- Adición de una nueva Sección para láminas a cortante soldadas a miembros de mayor espesor.
- Se introduce una tabla para tamaños de las gargantas de soldadura dependiendo el proceso usado.
  - Nuevas provisiones de sobre-ancho para conexiones empernadas.
  - Se incorpora una nueva tabla donde se presentan los factores de seguridad para los diferentes tipos de conexiones, según el método de diseño.
  - Se incorpora una nueva expresión para el área neta sujeta a tensión de acuerdo a la distribución uniforme o no uniforme de la fuerza.
  - Las expresiones de bloque de cortante fueron unificadas según lo dispuesto por la AISC.
  - Aparecen nuevos valores para los índices de confiabilidad.

#### 4.4 Alcance y Límite de Aplicabilidad de la Especificación AISI 2007 [8].

La Especificación AISI 2007 debe aplicarse al diseño de miembros estructurales de acero de bajo carbono (acero dulce) o de baja aleación, cuya sección ha sido formada en frío, a partir de láminas, rollos, tiras, platinas o barras de espesor menor o igual a 25.4 mm (1 pulgada) y usados para sostener cargas en [8]:

- (a) Edificios.
- (b) Otro tipo de estructuras, distintas de edificios, teniéndose en consideración las condiciones generadas por los efectos dinámicos.

#### 4.5 Diseño para los Estados Límites (LRFD).

- Bases de Diseño: La Especificación AISI 2007 indica los principios del Diseño para los Estados Límites (LRFD) y deben aplicar todos los requerimientos indicados para el diseño con miembros estructurales formados en frío, excepto donde se especifique lo contrario [8].
- Requerimientos aplicándose el Diseño para los Estados Límites(LRFD): El diseño debe satisfacer

los requerimientos indicados en la Especificación AISI 2007, cuando la capacidad de cada componente estructural iguala o excede la demanda con base en las solicitaciones multiplicadas por los apropiados factores de mayoración, para todas las combinaciones de carga aplicables [8].

- El diseño debe ser realizado de acuerdo con la siguiente fórmula [8]:

$$R_u \leq \Phi R_n$$

Donde:

$R_u$  = Solicitación mayorada

$\Phi$  = Factor de Minoración de la resistencia

$R_n$  = Resistencia Teórica

- Factores y Combinaciones de Cargas (LRFD) [10].

$$1.4D + L$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ ó } R_r)$$

$$1.2D + (1.4L_r \text{ ó } 1.6S \text{ ó } 1.6R_r) + (0.5L \text{ ó } 0.8W)$$

$$1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ ó } R_r)$$

$$1.2D + 1.5E + (0.5L \text{ ó } 0.2S)$$

$$0.9D - (1.3W \text{ ó } 1.5E)$$

$$1.2D_s + 1.6C_w + 1.4C$$

Donde:

D = acción permanente.

L = acción variable.

$L_r$  = acción variable de techo.

S = acción de nieve.

$R_r$  = acción de lluvia en techo.

W = acción de viento.

E = acción de sísmica.

## 4.6 Comportamiento de los Elementos de Lámina Delgada.

### 4.6.1 Pandeo Local.

Los elementos que conforman la sección transversal de un miembro de acero formado en frío son delgados y las relaciones ancho – espesor son altas, por lo tanto estos elementos pueden pandear localmente a tensiones menores que la de cedencia, cuando son comprimidos bajo fuerzas de flexión, compresión, corte y aplastamiento [4].

El pandeo local se produce en pequeñas zonas de la parte plana, las deformaciones son prácticamente nulas en los dobleces de las secciones y aumentan a medida que se alejan de estos dobleces.

El pandeo local no genera el colapso inmediato del perfil, pero reduce la capacidad del miembro estructural, además si este se encuentra rigidizado en sus bordes o por otro elemento, puede desarrollar la resistencia post-pandeo.

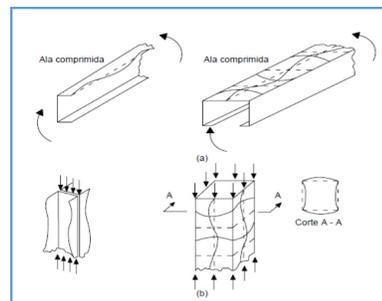


Figura 6.1. Pandeo Local Elementos Comprimidos. Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

### 4.6.2 Post - pandeo Local.

El pandeo local produce deformaciones las zonas más débiles de la sección transversal del perfil de acero conformado en frío, pero a su vez genera un incremento progresivo de la inercia local, lo que conduce a una recuperación parcial de la capacidad resistente de la sección. Los extremos apoyados del miembro, donde la deformación fuera de su plano están restringidas, aún tiene gran capacidad de resistencia.

### 4.6.3 Pandeo Torsional.

Las secciones de lámina delgada poseen baja resistencia a la torsión, debido a su formas abierta, en algunos casos el centro de gravedad no coincide con el centro de cortante, los cual genera inestabilidad torsional, por tal motivo no es suficiente evaluar el miembro formado en frío solo con los modos de falla de pandeo por flexión, debido a que en general este fallará por inestabilidad lateral y torsional combinada [9].

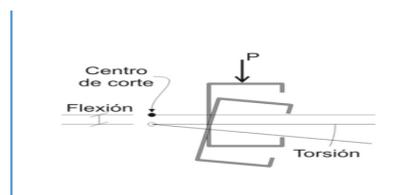


Figura 6.2. Torsión. Perfiles Delgados. Ricardo Herrera [7].

### 4.6.4 Pandeo Distorsional.

Cuando las secciones de lámina delgada se arriostran para restringir el pandeo lateral torsional y flexo-torsional, puede desarrollar lo que se denomina pandeo distorsio-

nal el cual envuelve cambios en la forma de la sección transversal del perfil.

El pandeo distorsional se caracteriza por producir una traslación y una rotación por compresión. En el caso de secciones solicitadas a flexión puede ocurrir que el ala en compresión rota y parcialmente ocurre una traslación de la misma.

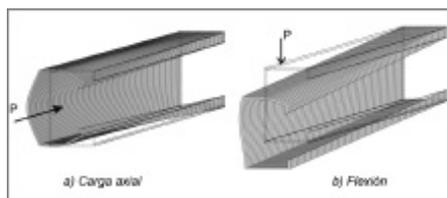


Figura 6.3. Pandeo Distorsional. Perfiles Delgados. Ricardo Herrera [7].

#### 4.6.4 Resistencia a la Cedencia.

Al hacer los dobleces de las secciones formadas en frío, las esquinas con dobleces aumentan su resistencia a la cedencia, produciéndose una disminución en la ductilidad del material, lo que se considera una ventaja en este tipo de secciones.

#### 4.6.5 Arrugamiento del Alma.

Los miembros de acero formados en frío solicitados a flexión, tienen generalmente almas con elevada esbeltez, por lo que pueden pandear localmente por la acción de fuerzas concentradas o reacciones de elevada intensidad. Esto ocurre porque no es común colocar rigidizadores en los puntos de apoyo del perfil, en muchos casos el alma no tiene la misma orientación que la línea de acción de la carga impuesta o la carga se aplica en el ala del perfil que no está apoyada simétricamente al alma, generándose pandeo flexo - torsional y distorsión.

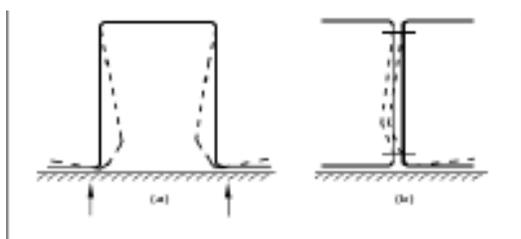


Figura 6.4. Arrugamiento del alma. Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

### 4.7 Tipos de Elementos en Compresión.

- Rigidizador: Se considera un rigidizador a un ángulo o placa unido a otra placa o alma de una viga con el objetivo de distribuir la carga, transferir el cortante o para prevenir el pandeo del elemento al cual está unido [10].
- Elemento en compresión no rigidizado: Son elementos planos solicitados a compresión rigidizados con elementos perpendiculares solamente en un extremo y libre en el otro extremo.

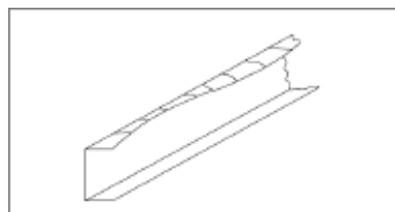


Figura 7.1. Pandeo Local de un ala comprimida No rigidizada. Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

- Elemento en compresión rigidizado o parcialmente rigidizado: Son elementos planos solicitados a compresión (ala comprimida de un miembro solicitado a flexión, ala o alma de un miembro solicitado a compresión), en el cual ambos bordes, paralelos a la dirección de la fuerza están rigidizados por uno u otro de los siguientes elementos: alma, ala, pestaña rigidizadora, rigidizador intermedio o algún elemento similar [8].



Figura 7.2. Elemento rigidizado. Diseño de Estructuras de Acero Formados en Frío usando las Especificaciones AISI-96 Cristina Ramírez [10].

### 4.8 Pandeo Elástico Crítico de Placas Rigidizadas.

El comportamiento estructural y la capacidad resistente de las placas comprimidas rigidizadas (apoyadas en dos bordes paralelos a la dirección de la fuerza) tales como el ala comprimida de una sección, dependen de la relación  $(b/t)$  y de las condiciones de apoyo en ambos bordes longitudinales. Si la relación  $(b/t)$  es pequeña la tensión en el ala comprimida puede alcanzar la tensión de cedencia del acero y la resistencia del elemento comprimido está determinada por la cedencia [4].

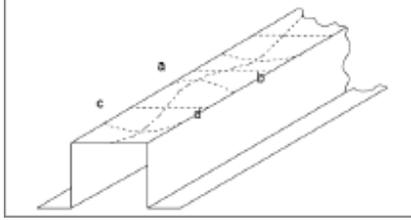


Figura 8.1. Pandeo local de un ala comprimida rigidizada. Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

Para alas comprimidas con relaciones de esbeltez altas el pandeo local mostrado en la figura 8.1 gobernará la resistencia. La tensión crítica de pandeo está dada por la expresión deducida por Timoshenko:

Donde:

$E$  = módulo de elasticidad del acero.

$k$  = coeficiente de pandeo de placa.

$\mu$  = módulo de Poisson (0.30)

$w$  = ancho plano del elemento comprimido

$t$  = espesor del elemento comprimido.

CASO	CONDICIÓN DE BORDE	TIPO DE ESFUERZO	VALORES DE $k$ PARALELO AL LARGO LARGO DE LA PLACA
1		COMPRESIÓN	4.0
2		COMPRESIÓN	0.425
3		CORTANTE	5.34
4		FLEXIÓN	23.9

Figura 8.2. Valores de  $k$  usados frecuentemente. Diseño de Estructuras de Acero Formadas en Frío usando la Especificación AISI 2006. Cristina Ramírez [10].

Cuando la tensión crítica de pandeo elástico calculada con la expresión de Timoshenko supera el límite de proporcionalidad del acero, el elemento comprimido pandeará en el campo inelástico.

A diferencia de los elementos estructurales unidimensionales (como las columnas) las placas comprimidas rigidizadas no colapsan al alcanzarse la tensión crítica de pandeo. Posterior al pandeo, el elemento puede soportar una carga adicional gracias a la redistribución de tensiones. El fenómeno se denomina resistencia post-crítica de las placas comprimidas y es más importante en los elementos comprimidos rigidizados con relaciones ( $b/t$ ) elevadas. El mecanismo del pandeo post-crítico fue tratado por von Karman y Winter [4].

Por razones de simplicidad se considera una placa cuadrada rigidizada, uniformemente comprimida en una

dirección y con los bordes no cargados simplemente apoyados. Para facilitar la visualización del fenómeno, se reemplaza la placa por el modelo indicado en la Figura 8.3. El modelo consiste en un emparrillado de barras longitudinales y transversales en las cuales se supone concentrado el material de la placa real. Como la placa está uniformemente cargada, cada uno de los cinco montantes longitudinales representa una columna cargada con  $(P/5)$ , siendo  $P$  la fuerza total que actúa sobre la placa. A medida que la carga aumenta la tensión de compresión en cada uno de los montantes tiende al valor crítico de pandeo de columna y los cinco montantes tenderían a pandear simultáneamente si ellos fueran columnas con apoyos simples en sus extremos. Al aumentar la deformación lateral sin restricciones, los montantes colapsarían al mismo tiempo. En el modelo utilizado para representar la placa es evidente que eso no puede ocurrir. Tan pronto como los montantes comienzan a deformarse al alcanzar su tensión crítica de pandeo, las barras transversales a las cuales están unidos se traccionan y limitan la deformación impuesta [4].

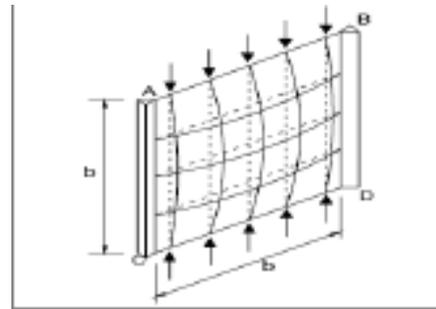


Figura 8.3. Modelo Winter post-pandeo Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

Las fuerzas de tracción en las barras transversales del modelo de emparrillado corresponden a las tensiones membranales de la placa real. Estas tensiones, de la misma manera que en el modelo, entran en juego apenas las tensiones de compresión producen el inicio del pandeo. Consisten fundamentalmente en tracciones transversales pero también en algunas tensiones de corte. Ellas impiden el incremento de las deformaciones de pandeo o sea tienden a estabilizar la placa frente al incremento de la compresión longitudinal.

En resumen, el comportamiento del modelo es el siguiente:

- (a) El modelo no colapsa cuando se alcanza la tensión crítica de pandeo; a diferencia de lo que ocurre en las columnas en las que la deformación lateral no es restringida. El modelo desarrollará pequeñas deformaciones pero

continuará soportando cargas crecientes (resistencia post-crítica).

- (b) Los montantes tendrán diferentes deformaciones. Los más próximos al centro tendrán las mayores deformaciones y no participarán prácticamente en los aumentos de carga posteriores al pandeo. Incluso hasta podrán transferir a los montantes vecinos parte de su carga previa al pandeo. Los montantes más próximos a los bordes apoyados se mantienen casi rectos por la acción de las barras transversales. Ellos podrán resistir cargas crecientes con muy poca deformación. Todo ello hace que la tensión de compresión en la placa deja de ser uniforme y se redistribuye tal como se indica en la Figura 8.4 siendo las tensiones mayores en los bordes y menores en el centro. A medida que aumenta la carga la no uniformidad de tensiones se vuelve más pronunciada. El modelo falla cuando los montantes más próximos a los bordes apoyados alcanzan la tensión de cedencia. En la placa real la falla se produce cuando la fibra de borde alcanza la tensión de cedencia y ya no admite más carga. O sea cuando la tensión máxima de compresión en el borde es  $f_{m\acute{a}x} = F_y$ .

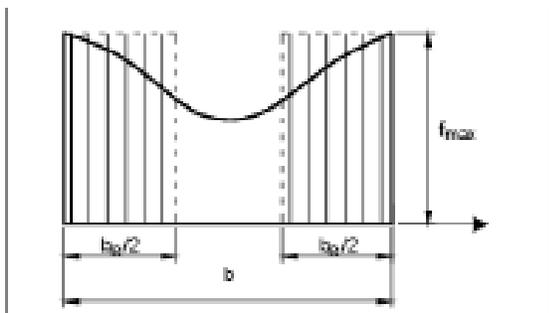


Figura 8.4. Distribución de Tensiones de Elementos Comprimidos Rigidizados. Reglamento CIRSOC 303. 2009 [4].

La resistencia post-crítica de las placas fue descubierta experimentalmente en 1928 y Th. Von Karman presentó una teoría aproximada en 1932 e introdujo el concepto de “ancho efectivo”. Desde entonces se utiliza en el diseño de aeronaves. El modelo de la Figura 8.3 es representativo del comportamiento de una placa rigidizada uniformemente comprimida como el ala de una sección de la Figura 8.1. Estos elementos pandean realmente en ondas de forma aproximadamente cuadrada [4].

Las dificultades prácticas que presenta la utilización de una tensión variable en el elemento se salvan con el artificio de la anchura efectiva. Tal como se ve en la

Figura 8.4 la fuerza total de compresión en el elemento es igual al área encerrada bajo la curva multiplicada por el espesor de la placa. La misma fuerza se obtiene considerando una distribución uniforme de tensiones con el valor correspondiente al borde ( $f_{m\acute{a}x}$ ) actuando sobre una anchura efectiva  $b_e$  menor al real de la placa  $b$ . Se determina la anchura efectiva de tal forma que el área encerrada bajo la curva sea igual al de dos rectángulos de lados  $f_{m\acute{a}x}$  y  $b_e/2$ .

Se supone que la parte central del elemento rigidizado uniformemente comprimido, que es la más deformada por el pandeo local, deja de colaborar como resistente cuando se alcanza la tensión crítica ideal.

## 4.9 Anchura Efectiva.

### 4.9.1 Concepto de Anchura Efectiva.

En base a este concepto, si el perfil estaba rigidizado en sus bordes y anclado en sus extremos, se permitía el pandeo local y por lo tanto se desarrollaba la resistencia post-pandeo [9].

En virtud de que las relaciones de esbeltez son grandes en este tipo de secciones, para una carga a compresión baja, se espera el pandeo elástico de la sección. Sin embargo el miembro es estable y por los dobleces de la sección permanece un ancho del perfil trabajando como si no hubiese pandeado. Este es el ancho que se denomina efectivo.

La determinación de la anchura efectiva de una sección es un proceso de iteraciones sucesivas y parte de suponer el valor de una tensión actuante en los bordes del perfil y analizar cada elemento que integra el miembro, es decir, si se trata de una sección C rigidizada, se analiza la pestaña, ala y alma de manera individual y por tanteo se determinan los valores de la anchura efectiva de cada parte y luego sumarlas para obtener la anchura efectiva total de la sección.

### 4.9.2 Límites y Consideraciones dimensionales según AISI 2007 [1] [2].

#### 4.9.2.1 Consideraciones para la relación ancho plano-espesor de alas [1] [2].

Se indican tres casos:

Caso -1: Elemento a compresión rigidizado con solo un borde longitudinal conectado a un elemento alma o ala y el otro borde rigidizado por:

Pestaña sencilla:

$$w/t \leq 60$$

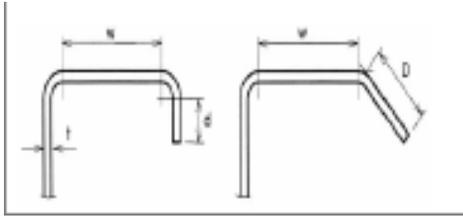


Figura 9.1. Borde rigidizado con una pestaña simple Diseño de Estructuras de Acero Formadas en Frío usando la Especificación AISI 2006. Cristina Ramírez [10].

Otro tipo de rigidizador:

Cuando  $l_s < l_a$

$$w/t \leq 60$$

Cuando  $l_s \geq l_a$

$$w/t \leq 90$$

Donde:

$l_s$  = momento de inercia real del rigidizador completo alrededor de su propio eje centroidal paralelo al elemento a ser rigidizado.

$l_a$  = momento de inercia adecuado del rigidizador, de tal forma que cada elemento componente se comportará como un elemento rigidizado.

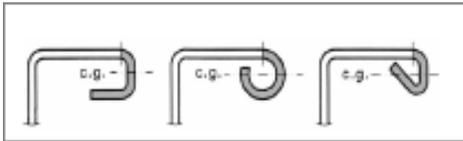


Figura 9.2. Borde rigidizado con otro tipo de rigidizador. Diseño de Estructuras de Acero Formadas en Frío usando la Especificación AISI 2006. Cristina Ramírez [10].

Caso – 2: Elemento a compresión rigidizado con ambos bordes longitudinales conectados a otros elementos rigidizados.

$$w/t \leq 500$$

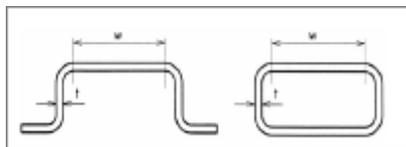


Figura 9.3. Elemento a compresión rigidizado en ambos bordes. Diseño de Estructuras de Acero Formadas en Frío usando la Especificación AISI 2006. Cristina Ramírez [10].

Caso – 3: Elemento a compresión no rigidizado.

$$w/t \leq 60$$

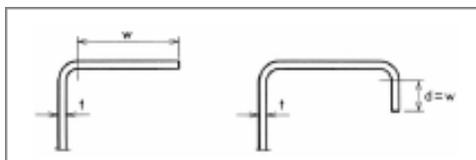


Figura 9.4. Elemento a compresión rigidizado en un borde. Diseño de Estructuras de Acero Formadas en Frío usando la Especificación AISI 2006. Cristina Ramírez [10].

Nota: Los elementos en compresión no rigidizados que tengan una relación  $w/t$  superior a aproximadamente 30 y los elementos en compresión rigidizados que tengan una relación  $w/t$  superior a aproximadamente 250 son susceptibles a desarrollar una deformación perceptible bajo la resistencia total disponible (resistencia multiplicada por un factor), sin afectar la capacidad del miembro a desarrollar la resistencia requerida (efecto de las solicitaciones mayoradas) [1].

Los elementos rigidizados con relaciones  $w/t$  mayores que 500 pueden ser usados con una resistencia de diseño adecuada para soportar las solicitaciones requeridas; sin embargo, las deformaciones importantes de tales elementos invalidarán las fórmulas de diseño especificadas en la Especificación AISI 2007 [1].

4.9.2.2 Relación máxima altura-espesor en almas [1] [2]

a. Para almas no reforzadas.

$$(h/t)_{\max} = 200$$

b. Para almas con rigidizadores en los apoyos solamente.

$$(h/t)_{\max} = 260$$

c. Para almas con rigidizadores en los apoyos e intermedios

$$(h/t)_{\max} = 300$$

Donde:

$h$  = altura de la porción plana del alma, medida a lo largo del plano del alma

$t$  = espesor del alma

Cuando el alma conste de dos o más láminas, se debe calcular para cada una la relación  $h/t$ .

## 5. ANALISIS Y DISEÑO DE LOS PERFILES C Y Z FABRICADOS EN VENEZUELA.

### 5.1 Miembros [1] [2].

#### 5.1.1 Flexión (C3.1 AISI 2007)

La resistencia teórica a flexión,  $M_n$ , será el valor calculado de acuerdo con las Secciones 10.1.1 (C3.1.1

AISI 2007), 10.1.2 (C3.1.2 AISI 2007), 10.1.3 (C3.1.4 AISI 2007), según sea aplicable.

#### 5.1.1.1 Resistencia teórica de la sección (C3.1.1 AISI 2007).

La resistencia teórica a flexión,  $M_n$ , se calculará, bien sea a partir de la base del punto de iniciación de la cedencia en la sección efectiva (Procedimiento 1) o sobre la base de la capacidad de reserva inelástica (Procedimiento 2), para este trabajo se aplicó únicamente el procedimiento 1.

Para secciones con alas en compresión rigidizadas o parcialmente rigidizadas:  $\phi_b = 0.95$ .

- a) Procedimiento 1 — Basado en la iniciación de la cedencia — La resistencia teórica a flexión,  $M_n$ , para el momento de cedencia efectivo se calculará de acuerdo con la fórmula C3.1.1-1, como sigue:

$$M_n = S_e F_y \quad (\text{Form. C3.1.1-1. AISI 2007}).$$

Donde:

$S_e$  = módulo elástico de la sección efectiva, calculado respecto a la fibra extrema en compresión o tensión al alcanzar  $F_y$ .

$F_y$  = tensión de cedencia de diseño.

#### 5.1.1.2 Resistencia al pandeo lateral torsional (C3.1.2 AISI 2007).

Las especificaciones de esta Sección aplicarán a miembros con secciones abiertas como se definen en la Sección 10.1.2.1 (C3.1.2.1. AISI 2007). El factor de resistencia será:

$$\phi_b = 0.90.$$

##### 5.1.1.2.1 Resistencia al pandeo lateral torsional de miembros de secciones abiertas (C3.1.2.1)

Las especificaciones de esta Sección aplican a miembros en flexión de secciones I, Z, C y otras secciones de simetría sencilla (no se incluyen tableros de almas múltiples, U, miembros de cajones cerrados y miembros curvos o en arco) solicitado a pandeo lateral torsional. Las especificaciones de esta Sección no se aplican a alas en compresión no arriostradas lateralmente de secciones estables lateralmente.

$$M_n = S_c F_c \quad (\text{Form. C3.1.2.1-1. AISI 2007}).$$

Donde:

$S_c$  = Módulo elástico de la sección efectiva calculado con respecto a la fibra extrema en compresión solicitada a una tensión  $F_c$ .

$F_c$  se determina como sigue:

Para  $F_e \geq 2.78F_y$

El segmento del miembro no está sujeto a pandeo lateral torsional para momentos menores o iguales a  $M_y$ . La resistencia de diseño a flexión se determinará conforme a la Sección 10.1.1 (a) (C3.1.1(a) AISI 2007)

Para  $2.78F_y > F_e > 0.56F_y$

$$F_c = \frac{10}{9} F_y \left[ 1 - \frac{10F_y}{36F_e} \right] \quad (\text{Form. C3.1.2.1-2. AISI 2007}).$$

Para  $F_e \leq 0.56F_y$

$$F_c = F_e \quad (\text{Form. C3.1.2.1-3. AISI 2007}).$$

Donde:

$F_y$  = tensión de cedencia de diseño

$F_e$  = tensión crítica elástica de pandeo lateral torsional calculado según lo indicado en la especificación AISI 2007

#### 5.1.1.3 Resistencia al pandeo distorsional (C3.1.4 AISI 2007).

Las especificaciones de esta Sección se aplicarán a secciones I, Z, C y otros miembros de sección transversal abierta que emplean alas en compresión con rigidizadores de borde. La resistencia teórica a flexión se calculará de acuerdo con las fórmulas C3.1.4-1 ó C3.1.4-2.

$$\phi_b = 0.90$$

Para  $\phi_d \leq 0.673$

$$M_n = M_y \quad (\text{Form. C3.1.4-1. AISI 2007}).$$

Para  $\phi_d > 0.673$

$$M_n = \phi_b \left[ 0.22 \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} + \left( \frac{M_{crd}}{M_y} \right)^{0.5} \right] M_y$$

(Form. C3.1.4-2. AISI 2007).

Donde:

$$\phi_d = \sqrt{\frac{M_y}{M_{crd}}} \quad (\text{Form. C3.1.4-3. AISI 2007}).$$

$$M_y = S_{fy} F_y \quad (\text{Form. C3.1.4-4. AISI 2007}).$$

Donde:

$S_{fy}$  = módulo elástico de la sección completa no reducida respecto a la fibra extrema en la primera cedencia.

$$M_{crd} = S_f F_d \quad (\text{Form. C3.1.4-5. AISI 2007}).$$

Donde:

$S_f$  = módulo elástico de la sección completa no reducida respecto a la fibra extrema en compresión.

$F_d$  = tensión de pandeo elástico distorsional calculado de acuerdo con cualquiera de las Secciones 10.1.3 (a) (C3.1.4 (a) AISI 2007), Sección 10.1.3 (b) (C3.1.4 (b) AISI 2007) o Sección C3.1.4 (c). (AISI 2007).

La Sección C3.1.4 (c). (AISI 2007) no es considerada en este trabajo.

## 5.2 Cortante (C3.2 AISI 2007)

### 5.2.1 Resistencia al corte de almas sin huecos (C3.2.1 AISI 2007)

La resistencia teórica al corte,  $V_n$ , se calculará de acuerdo con la fórmula C3.2.1-1

$$V_n = A_w F_v \quad (\text{Form. C3.2.1-1. AISI 2007}).$$

$$\Phi_v = 0.95$$

## 5.3 Arrugamiento del alma (C3.4 AISI 2007)

### 5.3.1 Resistencia a arrugamiento de almas sin huecos (C3.4.1)

La resistencia teórica al arrugamiento del alma,  $P_n$ , se determinará de acuerdo con la fórmula C3.4.1-1 o C3.4.1-2 (AISI 2007), según sea aplicable. Se usarán los factores de resistencia en la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 a C3.4.1-3 AISI 2007) para la determinación de la resistencia de diseño.

(Form. C3.4.1-1. AISI 2007).

$$P_n = C_t^2 F_y \left[ C_R \sqrt{\frac{R}{t}} + C_N \sqrt{\frac{N}{t}} \right] C_h \sqrt{\frac{h}{t}}$$

Donde:

$P_n$  = resistencia teórica al arrugamiento del alma.

$C$  = coeficiente de la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 C3.4.1-3 AISI 2007.

$t$  = espesor del alma.

$F_y$  = tensión cedente de diseño.

$\theta$  = ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de soporte,  $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

$C_R$  = coeficiente de radio de doblez interno tomado de la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 o 10.2 C3.4.1-3 AISI 2007.

$R$  = radio de doblez interno

$C_N$  = coeficiente de longitud de apoyo de la carga tomado de la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 o C3.4.1-3 AISI 2007.

$N$  = longitud de apoyo de la carga (mínimo 19 mm)

$C_h$  = coeficiente de esbeltez del alma tomado de la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 o C3.4.1-3 AISI 2007.

$h$  = dimensión plana del alma, medida en su mismo plano

Alternativamente, para la condición de carga de extremo sobre un ala en una sección C o Z, la resistencia teórica al arrugamiento del alma,  $P_{nc}$ , con voladizo sobre un lado, puede calcularse de la siguiente manera, excepto que  $P_{nc}$  no debe ser mayor al valor obtenido para la condición de carga interior sobre un ala:

$$P_{nc} = \Phi P_n \quad (\text{Form. C3.4.1-2. AISI 2007}).$$

Donde:

$P_{nc}$  = resistencia teórica al arrugamiento del alma de secciones C y Z con voladizos.

$$\Phi = \frac{1.34 \left( \frac{L_o}{h} \right)^{0.26}}{0.008 \left( \frac{h}{t} \right) + 0.3} \leq 1.0 \quad (\text{Form. C3.4.1-3. AISI 2007}).$$

Donde:

$L_o$  = longitud del voladizo medido desde el borde del apoyo hasta el extremo del miembro.

$P_n$  = resistencia teórica al arrugamiento del alma con carga de extremo sobre un ala calculada con la fórmula C3.4.1-1 (AISI 2007) y la tabla C3.4.1-2 AISI 2007 o C3.4.1-3 AISI 2007.

## 5.4 Miembros en compresión cargados concéntricamente (C4 AISI 2007).

La resistencia de diseño a carga axial debe ser el menor valor de los calculados de acuerdo con las Secciones 10.4.1 (C4.1 AISI 2007) a 10.4.3 (C4.3 AISI 2007), según sea aplicable.

### 5.4.1 Resistencia teórica por cedencia, pandeo por flexión, pandeo flexo-torsional y torsional (C4.1 AISI 2007)

Esta Sección se aplica a miembros cuya resultante de todas las cargas actuantes sobre el miembro es una carga axial que pasa a través del centroide de la sección efectiva calculada para la tensión,  $F_n$ , definido en esta parte del Reglamento.

- a. La resistencia teórica bajo carga axial  $P_n$ , se calculará de acuerdo con la fórmula C4.1-1.

$$P_n = A_e F_n$$

$$\phi_c = 0.85 \quad (\text{Form. C4.1-1. AISI 2007}).$$

Donde:

$A_e$  = área efectiva calculada con la tensión  $F_n$ .

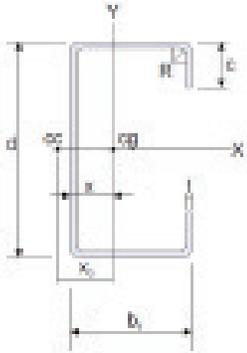
$F_n$  es determinado según se indica en la Especificación AISI 2007.

### 5.4 Perfiles de acero formados en frío C y Z fabricados en Venezuela.

#### PERFILES C

La Serie de Perfiles Formados en Frío fabricada en acero estructural de alta resistencia (Grado 50 (F<sub>y</sub> 355N kgf/cm<sup>2</sup>)) que se presenta a continuación está basada en la siguiente variedad de Perfiles Formados en Frío que PROPERCA está en condiciones de suministrar:

Radio interno R=3 mm  
 $F_u = 355 \text{ kgf/cm}^2$   
 $F_y = 4570 \text{ kgf/cm}^2$

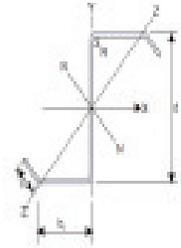


Designación	Dimensiones			Propiedades										
	Alas	Rg	Cap	Area	Eje X-X'			Eje Y-Y'			Pendientes Flexionales			
C d x Paso	b <sub>1</sub>	t	A	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	J	C <sub>w</sub>	R	K <sub>x</sub>	K <sub>y</sub>
mm x kg/m	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>6</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
C 100x3.00	50	15.2	4.05	71	14.0	3.98	15.7	4.71	1.64	0.011	255	2.69	4.34	6.92
C 150x5.47	70	20.2	6.97	248	33.3	6.88	80.8	11.00	2.68	1.108	2.721	3.43	6.00	8.84
x 7.94	3.00	9.61	338	46.3	9.93	67.1	14.88	2.64	2.288	3.988	3.80	5.91	8.90	
C 200x6.92	70	25.2	10.0	498	48.3	12.8	153	17.4	2.62	1.124	4.028	5.11	5.90	10.90
x 8.12	3.00	11.10	668	66.5	17.4	140	19.29	2.58	1.335	6.058	3.46	5.31	10.90	
x 12.87	4.50	16.30	858	85.8	24.8	183.0	21.27	2.57	1.100	8.741	4.17	5.16	10.90	
C 250x7.97	80	30.2	13.7	814	75.7	16.8	283	19.7	3.07	1.151	12.808	5.34	6.00	13.40
x 16.8	3.00	13.50	1.258	180.0	9.65	119.0	21.18	2.97	1.408	16.808	3.75	5.91	13.40	
x 19.77	4.50	18.90	1.818	145.0	9.54	187.0	24.70	2.88	1.390	23.208	4.41	5.82	13.40	
C 300x11.8	80	30.2	17.0	1.330	128	11.30	335.0	21.5	3.33	1.445	23.808	5.80	6.00	16.40
x 17.47	4.50	22.20	2.211	187.0	11.30	176.0	24.2	2.82	1.500	32.808	4.76	5.88	16.40	
C 350x13.0	80	30.2	18.50	2.408	180.0	13.00	411.0	21.0	3.63	1.495	30.808	5.33	5.14	20.20
x 19.87	4.50	24.40	4.036	223.0	12.90	184.0	30.63	2.14	1.680	46.808	4.81	5.00	20.40	

\* Bajo Pedido | Estas propiedades son para la sección completa sin rebajar.

#### PERFILES Z

También PROPERCA ofrece una serie de Perfiles Z especialmente concebidos para ser usados como cornisas y perfiles en los techos y paredes. El uso del perfil Z redundará en una mayor economía en el diseño de estructuras de pisos y techos.



Perfil de "C" en 45°  
 Radio interno R=3 mm  
 $F_u = 355 \text{ kgf/cm}^2$   
 $F_y = 4570 \text{ kgf/cm}^2$

Designación	Dimensiones			Propiedades										
	Alas	Rg	Cap	Area	Eje X-X'			Eje Y-Y'			Pendientes Flexionales			
C d x Paso	b <sub>1</sub>	t	A	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	J	C <sub>w</sub>	R	K <sub>x</sub>	K <sub>y</sub>
mm x kg/m	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>6</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
Z 100x3.00	70	20	1.45	71.0	254	34.65	6.05	10.80	2.02	1.07	38.4	3.00	2.37	40.5
Z 150x5.47	70	20	1.75	81.7	520	50.55	7.88	18.80	3.85	1.27	68.3	3.80	48.8	51.80
x 6.88	3.00	11.20	688	68.8	18.25	7.82	140	17.35	3.85	2.98	60.1	3.90	48.8	52.40
x 12.87	4.50	16.90	1.000	101.00	27.8	170	24.80	2.88	2.40	88.7	1.90	3.27	49.0	54.30
Z 200x7.97	80	30	2.15	102.8	84	71.45	9.78	37.00	4.74	1.41	121	3.90	57.5	67.30
x 16.87	3.00	13.00	1.300	104.00	9.72	210	23.00	4.17	3.00	84.7	1.40	2.88	57.5	67.30
x 19.87	4.50	19.40	1.800	151.00	10.7	210	33.50	4.00	3.00	140	2.00	3.10	57.5	67.30

\* Bajo Pedido - Estas propiedades son para la sección completa sin rebajar.

#### TABLA DE PRODUCTOS

Tablas y Perfiles para uso Estructural  
 Perfiles fabricados en Dirección Maestra (Perfil 800 C)



Especificación MBP 13.2005

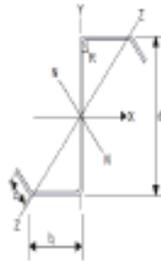
Designación	Dimensiones			Propiedades										
	Alas	Rg	Cap	Area	Eje X-X'			Eje Y-Y'			Pendientes Flexionales			
C d x Paso	b <sub>1</sub>	t	A	I <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	r <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	S <sub>y</sub>	r <sub>y</sub>	J	C <sub>w</sub>	R	K <sub>x</sub>	K <sub>y</sub>
mm x kg/m	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>6</sup>	cm <sup>6</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
C 100x3.00	50	15.2	4.05	71	14.0	3.98	15.7	4.71	1.64	0.011	255	2.69	4.34	6.92
C 150x5.47	70	20.2	6.97	248	33.3	6.88	80.8	11.00	2.68	1.108	2.721	3.43	6.00	8.84
x 7.94	3.00	9.61	338	46.3	9.93	67.1	14.88	2.64	2.288	3.988	3.80	5.91	8.90	
C 200x6.92	70	25.2	10.0	498	48.3	12.8	153	17.4	2.62	1.124	4.028	5.11	5.90	10.90
x 8.12	3.00	11.10	668	66.5	17.4	140	19.29	2.58	1.335	6.058	3.46	5.31	10.90	
x 12.87	4.50	16.30	858	85.8	24.8	183.0	21.27	2.57	1.100	8.741	4.17	5.16	10.90	
C 250x7.97	80	30.2	13.7	814	75.7	16.8	283	19.7	3.07	1.151	12.808	5.34	6.00	13.40
x 16.8	3.00	13.50	1.258	180.0	9.65	119.0	21.18	2.97	1.408	16.808	3.75	5.91	13.40	
x 19.77	4.50	18.90	1.818	145.0	9.54	187.0	24.70	2.88	1.390	23.208	4.41	5.82	13.40	
C 300x11.8	80	30.2	17.0	1.330	128	11.30	335.0	21.5	3.33	1.445	23.808	5.80	6.00	16.40
x 17.47	4.50	22.20	2.211	187.0	11.30	176.0	24.2	2.82	1.500	32.808	4.76	5.88	16.40	
C 350x13.0	80	30.2	18.50	2.408	180.0	13.00	411.0	21.0	3.63	1.495	30.808	5.33	5.14	20.20
x 19.87	4.50	24.40	4.036	223.0	12.90	184.0	30.63	2.14	1.680	46.808	4.81	5.00	20.40	

\* Bajo Pedido | Estas propiedades son para la sección completa sin rebajar.

### PERFILES Z

También PROPERCA ofrece una serie de Perfiles Z especialmente concebidos para ser usados como cornisas y paneles en los techos y paredes. El uso del perfil Z redundará en una mayor economía en el diseño de estructuras de pisos y techos.

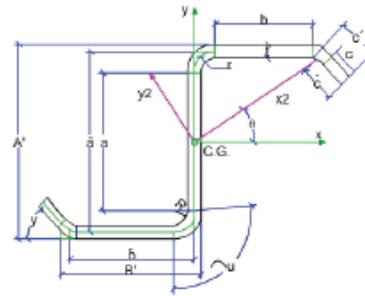
Pestaña 'c' en 45°  
Radio Interno R=3 mm  
 $F_y = 3515 \text{ kg/fton}^2$   
 $F_x = 4570 \text{ kg/fton}^2$



Designación CMB, d x Poso	Dimensiones				Propiedades													
	h	b	t	A	$I_{yy}$	$I_{xx}$	$I_{xy}$	$S_{yy}$	$S_{xx}$	$S_{xy}$	$r_{yy}$	$r_{xx}$	$r_{xy}$	$r_{yy}$	$r_{xx}$	$r_{xy}$		
Z150x5.57	150	70	2.15	1.30	250	34.63	6.25	103	12.90	2.82	127	38.4	332	2.27	66.3	6.129	3.990	
Z200x6.41	200	70	2.15	1.11	305	50.59	7.88	100	12.90	3.65	173	44.2	470	2.33	88.6	6.129	7.510	
+18.8					330	11.30	492	45.23	7.82	148	17.23	3.62	236	46.1	78.1	2.39	88.6	6.340
+13.2					430	16.63	1.093	521.03	7.73	212	24.83	3.98	243	86.2	1.130	2.27	66.3	11.230
Z250x7.76	250	70	2.15	0.88	342	75.43	9.73	170	12.90	4.14	291	53.7	1.040	2.73	71.6	6.152	18.700	
+16.8					330	13.30	1.590	154.03	8.72	232	23.23	4.71	398	64.7	1.430	2.84	71.6	6.472
+15.07					430	20.42	1.890	152.03	8.55	334	33.83	4.85	583	142.1	2.090	2.85	71.1	13.800

\* Bajo Pedido - Estas propiedades son para la sección completa sin reducir

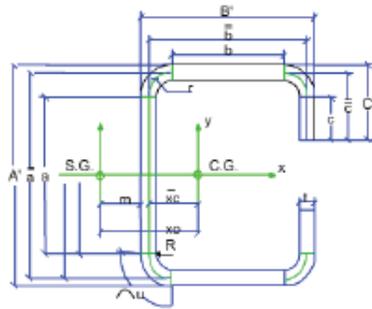
### PROPIEDADES DE LA SECCION Z RIGIDIZADA



Designación Sección	A'	B'	R	C'	t	Y
Z150x5.57	150	70	3	25	2.15	45
Z200x6.41	200	70	3	25	2.15	45
Z250x7.76	250	80	3	30	2.15	45

## 5.6 Propiedades geométricas de los perfiles objeto de estudio.

### PROPIEDADES DE LA SECCION C RIGIDIZADA



Designación Sección	A'	B'	R	C'	t
C100x3.62	100	50	3	15	2.15
C150x5.47	150	70	3	25	2.15
C200x6.32	200	70	3	25	2.15

#### a) Parametros Basicos

Designación Sección	r	a	$\bar{a}$	b	$\bar{b}$	c	$\bar{c}$	u
C100x3.62	4.08	89.70	97.85	39.70	47.85	9.85	13.93	6.40
C150x5.47	4.08	139.70	147.85	59.70	67.85	19.85	23.93	6.40
C200x6.32	4.08	189.70	197.85	59.70	67.85	19.85	23.93	6.40

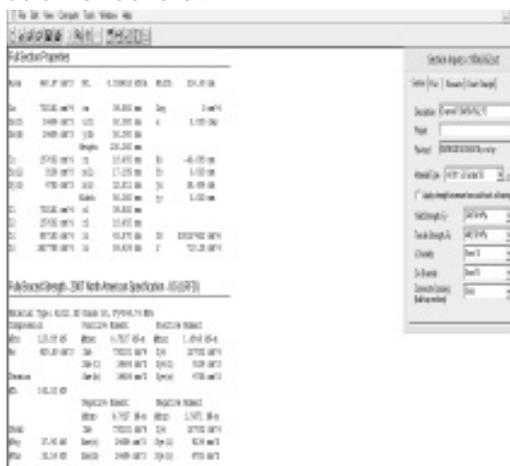
Designation	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
250x657	709.65	299.618.65	109007.65	1271659.26	1.03	369302.95	5319330.35	60.47	39.16	22.63	1053.46	399469312.74	34694.92	2306.41	87.715	9350359.95	109007.65	1729393.89	1.21	441288.44	5987285.17	78.62	39.49	23.24	1059.09	7556369792.25	50005.99
250x678	999.15	9624948.61	1897991.89	29169693.76	1.25	722298.10	10900941.20	97.61	41.43	27.02	624.12	16979073636.75	75998.07	2506.78	999.15	9624948.61	1897991.89	29169693.76	1.25	722298.10	10900941.20	97.61	41.43	27.02	624.12	16979073636.75	75998.07

b) Propiedades de la Sección

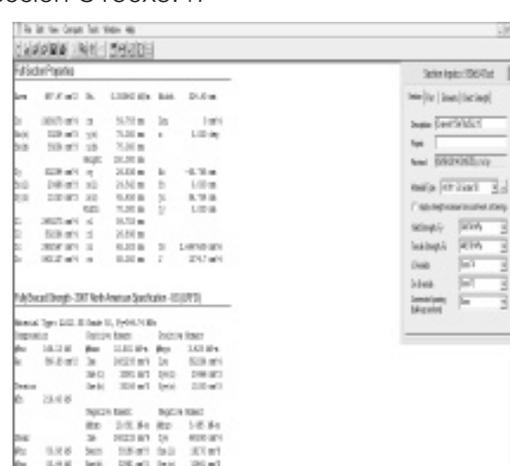
Designation	r	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z		
250x657	4.08	199.70	147.85	62.72	68.43	22.87	24.55	6.40	3.20	2006.41	4.08	199.70	147.85	62.72	68.43	22.87	24.55	6.40	3.20	2006.41	4.08	199.70	147.85	62.72	68.43	22.87	24.55	6.40	3.20
250x678	4.08	299.70	247.85	72.72	78.43	27.87	29.55	8.40	3.20	2506.78	4.08	299.70	247.85	72.72	78.43	27.87	29.55	8.40	3.20	2506.78	4.08	299.70	247.85	72.72	78.43	27.87	29.55	8.40	3.20

a) Parametros de los

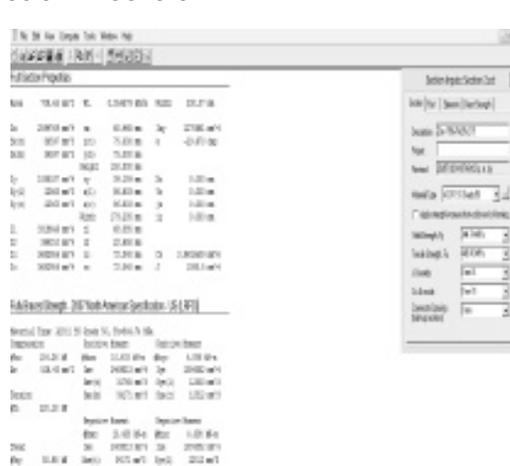
Sección C100x3.62



Sección C150x5.47



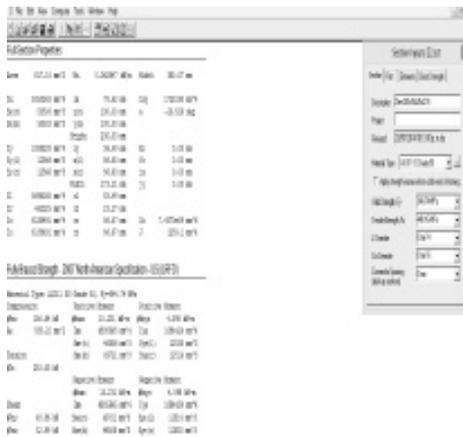
Sección Z150x5.57



### 5.7 Secciones efectivas de los perfiles objeto de estudio.

Para determinar las propiedades efectivas de las secciones en estudio se utilizó el programa CSF versión 8.0 y cuyos resultados se presentan a continuación:

Sección Z200x6.41



Arrugamiento del Alma C3.4 AISI 2007

Sección	N mm	$\Phi_w P_n$ N
C100x3.62	80.00	12345.27
C150x5.47	130.00	14116.14
C200x6.32	177.80	15361.68

Compresión sin Pandeo C4 AISI

Longitud No arriostrada mm	C100x3.62 $\Phi_c P_n$ N	C150x5.47 $\Phi_c P_n$ N	C200x6.32 $\Phi_c P_n$ N
500.00	119434.93	162045.03	164366.23
1000.00	102007.29	150391.29	152014.34
2000.00	54278.84	111575.95	111217.34
3000.00	24413.13	67839.68	66067.17
4000.00	13732.39	38299.53	37156.63

Compresión considerando el Pandeo de la sección C4 AISI

Longitud No arriostrada mm	C100x3.62 $\Phi_c P_n$ N	C150x5.47 $\Phi_c P_n$ N	C200x6.32 $\Phi_c P_n$ N
500.00	115045.93	159796.01	163694.48
1000.00	89532.61	142458.96	149679.40
2000.00	41022.43	92193.48	106001.71
3000.00	23262.62	49230.36	62084.13
4000.00	13732.39	30181.64	37156.63

Estado Límite de Cedencia C3.1.1 AISI 2007

Sección	$\Phi_y M_n$ N*mm
Z150x5.57	10403132.80
Z200x6.41	15230854.52
Z250x7.76	22218131.02

5.8 Análisis de las secciones C y Z según los Capítulos C3 y C4 de la Especificación AISI 2007.

Estado Límite de Cedencia C3.1.1 AISI 2007

Sección	$\Phi_y M_n$ N*mm
C100x3.62	4782653.81
C150x5.47	10801376.44
C200x6.32	15841975.12

Pandeo Lateral Torsional C3.1.2 AISI 2007

Longitud No arriostrada mm	C100x3.62 $\Phi_b M_n$ MPa	C150x5.47 $\Phi_b M_n$ MPa	C200x6.32 $\Phi_b M_n$ MPa
500.00	4531124.66	10232882.95	15008186.95
1000.00	4531124.66	10232882.95	15008186.95
1500.00	4043263.79	10232882.95	14989171.77
2000.00	3371041.36	9459627.00	13703746.72
3000.00	1938722.73	7225213.66	10149981.12
4000.00	1258808.48	4596367.28	6189048.96
5000.00	925877.35	3106091.31	4117149.72

Pandeo Lateral Torsional C3.1.2 AISI 2007

Longitud No arriostrada mm	Z150x5.57 $\Phi_b M_n$ MPa	Z200x6.41 $\Phi_b M_n$ MPa	Z250x7.76 $\Phi_b M_n$ MPa
500.00	9855599.49	14429230.60	21048755.71
1000.00	9855599.49	14429230.60	21048755.71
1500.00	9727321.21	14120318.83	21048755.71
2000.00	8795900.86	12652505.47	19635365.24
3000.00	6224886.29	8548383.60	15011840.90
4000.00	3690844.20	4935188.90	9284114.23
5000.00	2459249.26	3243220.19	6023564.97

Pandeo Distorsional C3.1.4 (a) AISI 2007

Sección	$\lambda_d$	$\Phi_b M_n$ N*mm
C100x3.62	No cumple Límites Dimensionales	
C150x5.47	1.00	7969315.13
C200x6.32	1.11	10859663.79

Pandeo Distorsional C3.1.4 (a) AISI 2007

Sección	$\lambda_d$	$\Phi_b M_n$ N*mm
Z150x5.57	1.09	7227965.08
Z200x6.41	1.20	9789727.87
Z250x7.76	1.32	13307493.44

Pandeo Distorsional C3.1.4 (b) AISI 2007

Sección	$L_{or}$ (mm)	$\lambda_d$	$\Phi_b M_n$ N*mm
Z150x5.57	510.54	0.90	8257667.94
Z200x6.41	548.80	0.98	11454039.59
Z250x7.76	708.85	1.07	15674443.36

Pandeo Distorsional C3.1.4 (b) AISI 2007

Sección	$L_{or}$ (mm)	$\lambda_d$	$\Phi_b M_n$ N*mm
C100x3.62	306.98	0.66	4531124.66
C150x5.47	590.28	0.78	9412294.48
C200x6.32	634.42	0.85	13102135.55

Cortante C3.2 AISI 2007

Sección	$\Phi_v V_n$ N
Z150x5.57	51060.30
Z200x6.41	49013.03
Z250x7.76	38789.20

Cortante C3.2 AISI 2007

Sección	$\Phi_v V_n$ N
C100x3.62	37896.35
C150x5.47	51060.30
C200x6.32	49013.03

Arrugamiento del Alma C3.4 AISI 2007

Sección	N mm	$\Phi_w P_n$ N
Z150x5.57	80.00	11891.15
Z200x6.41	100.00	12438.85
Z250x7.76	150.00	13995.43

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### Para las secciones C estudiadas.

#### Estado Límite de Cedencia.

Los resultados mostrados anteriormente corresponden a las resistencias de diseño por estado límite de cedencia de las secciones C seleccionadas para el estudio, considerándose que el ala comprimida esta lateralmente arriostrada de forma continua. Por ello no puede ocurrir el pandeo lateral y los estados límites determinantes son la cedencia en el ala comprimida o traccionada y el pandeo local del ala o alma comprimida, reconocido el hecho que la anchura efectiva es menor que el ancho total.

El Procedimiento I basado en la iniciación de la cedencia, es decir cuando la fibra extrema alcanza la cedencia fue el aplicado.

#### Pandeo Lateral Torsional.

De acuerdo a los resultados mostrados para cada sección C, a medida que se incrementa la longitud máxima no arriostrada, la capacidad resistente del perfil disminuye.

Para el caso del perfil C 100x3.62 y 200 x 6.32 entre las longitudes de 500 mm y 1000 mm el pandeo elástico no es crítico. En el caso de la sección C150x5.47 para longitudes de arriostramientos menores a 1500 mm el perfil no está propenso a pandeo lateral torsional.

#### Pandeo Distorsional C3.1.4 (a)

Al aplicarse la Sección C3.1.4 (a) AISI 2007 método simplificado (Método retirado de los suplementos del año 2010 por considerarlo conservador), se muestra que el perfil C100x3.62 no cumple con los límites dimensionales indicados en este apartado de la Especificación AISI 2007.

Tanto el perfil C150x5.47 como el C200x6.21 tienen relaciones de esbeltez mayores a 0.673, por tal motivo su sección no es totalmente efectiva a este tipo de pandeo y sus capacidades resistentes de diseño se determinan aplicándose la fórmula C.3.1.4-2 de la AISI 2007.

#### Pandeo Distorsional C3.1.4 (b)

Los resultados mostrados corresponden a la aplicación de la Sección C3.1.4 (b) de la Especificación AISI 2007 para los perfiles C objeto de estudio. Donde se puede observar que a todas las secciones se le determinó su resistencia de diseño. Además los valores pre-

sentados son 30% mayor a los obtenidos aplicándose la Sección C3.1.4 (a).

#### Cortante.

Para el caso del perfil C100x3.62 el valor obtenido corresponde al corte en la zona de cedencia por tener una relación  $h/t$  baja.

El valor obtenido para el perfil C150x5.47 corresponde a la resistencia de diseño a corte en la zona pandeo inelástico. Para el caso de la sección C200x6.32 el valor presentado es el correspondiente a la resistencia de diseño a corte en el alma en la zona de pandeo elástico por tener una relación  $h/t$  alta.

#### Arrugamiento del Alma.

Las resistencias de diseño al arrugamiento del alma son las obtenidas al aplicarse la Sección C3.4 de la Especificación AISI 2007, donde el valor N indica la longitud de apoyo de la carga. Es importante resaltar que se consideró el perfil sujeto al apoyo, el ala de la sección rigidizada y que la carga actuante es extrema sobre un ala.

Cabe mencionar que a medida que se aumenta la longitud de apoyo de la carga se incrementa la resistencia de diseño al arrugamiento del alma.

#### Compresión sin considerar el pandeo.

Los resultados demuestran que a medida que se incrementa la longitud no arriostrada del miembro, la resistencia de diseño disminuye. Para el caso del perfil C200x6.32 por tener el alma una relación de esbeltez muy alta la reducción de su capacidad resistente es notable.

El perfil C100x3.62 para longitudes no arriostradas desde 500 mm hasta 2000 mm posee relaciones de esbeltez menores a 1.50, por lo tanto su resistencia de diseño a la compresión está dentro del rango inelástico de pandeo. Para longitudes mayores el perfil alcanza su capacidad resistente de diseño a compresión en el rango elástico.

Tanto el perfil C150x5.47 como el C200x6.32 a longitudes no soportadas menores a 3000 mm se obtienen resistencias de diseño a compresión en el rango inelástico de pandeo, a longitudes no soportadas mayores a 3000 mm alcanza capacidades resistentes de diseño que están en el rango elástico.

#### Compresión considerando el pandeo

El perfil C100x3.62 para longitudes no arriostradas mayores a 1000 mm sus capacidades resistentes de diseño se encuentran en el rango elástico. Esta condición

se presenta en los perfiles C150x5.47 y C200x6.32 a longitudes máximas no soportadas mayores a 3000 mm.

### Para las secciones Z estudiadas.

#### Estado Límite de Cedencia.

Los valores mostrados corresponden a las resistencias de diseño por estado límite de cedencia de las secciones Z seleccionadas para el estudio, considerándose que el ala comprimida esta lateralmente arriostrada de forma continua. Por ello no puede ocurrir el pandeo lateral y los estados límites determinantes son la cedencia en el ala comprimida o traccionada y el pandeo local del ala o alma comprimida, reconocido el hecho de que la anchura efectiva es menor que el ancho total.

#### Pandeo Lateral Torsional.

Los perfiles Z150x5.57 y Z200x6.41 a longitudes no soportadas menores a 1000 mm no están propensos a pandeo lateral torsional. Para longitudes de arriostramientos entre 1500 mm y 3000 mm las resistencias de diseño obtenidas están en el rango inelástico. Para longitudes no arriostradas mayores a 3000 mm las resistencias de diseño al pandeo lateral torsional se encuentran en el rango elástico.

Para el caso de la sección Z250x776 cuando los arriostramientos son colocados a distancias menores a 1500 mm, estos no sufren pandeo lateral torsional. Para longitudes máximas no arriostradas entre 2000 mm y 3000 mm los resultados obtenidos indican que las resistencias de diseño al pandeo lateral torsional están en el rango inelástico. Para longitudes entre arriostramientos mayores a 3000 mm las resistencias de diseño se encuentran en la región elástica.

#### Pandeo Distorsional C3.1.4 (a)

Los perfiles Z estudiados presentan relaciones de esbeltez mayores a 0.673 según el método aplicado, por lo tanto su sección no es completamente efectiva y sus resistencias de diseño se determinan aplicándose la fórmula C.3.1.4-2 de la AISI 2007.

#### Pandeo Distorsional C3.1.4 (b)

Los resultados presentados corresponden a la aplicación de la Sección C3.1.4 (b) de la Especificación AISI 2007 a los perfiles Z estudiados. Donde se puede apreciar la disminución de los valores de las relaciones de esbeltez y el incremento de las resistencias de diseño al pandeo distorsional, en comparación con los resultados obtenidos al aplicar la Sección C3.1.4 (a) de la Especificación AISI 2007.

#### Cortante.

El perfil Z150x5.57 tiene una baja relación h/t por lo tanto las resistencias de diseño al corte se encuentran en el rango de cedencia. Para los casos de los perfiles Z200x6.41 y Z250x7.76 al tener relaciones h/t altas, sus resistencias de diseño al corte en el alma se encuentran en la zona de pandeo elástico.

#### Arrugamiento del Alma.

Las resistencias de diseño al arrugamiento del alma corresponden a las obtenidas aplicándose la Sección C3.4 de la Especificación AISI 2007, donde el valor N indica la longitud de apoyo de la carga. Es importante indicar que se consideró que el perfil está sujeto al apoyo, que el ala de la sección esta rigidizada y que la carga actuante es extrema sobre un ala.

Este estudio busca generar un antecedente teórico – práctico de manera de crear una normativa técnica Venezolana que regule la fabricación, análisis, diseño, montaje y conexiones de las secciones conformadas en frío fabricadas por empresas Venezolanas, debido a que por la inexistencia de ella, hay profesionales que aplican la Especificación AISC o la Norma Venezolana COVENIN MINDUR 1618-1998, para diseño de edificaciones con perfiles C, Z y tubulares de acero formados en frío.

## 7. REFERENCIAS

- [1] AISI STANDARD S100-2007, "North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members". October, 2007. American Iron and Steel Institute. Washington D.C.
- [2] AISI STANDARD S100-2007. "Commentary on North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members". October 2007. American Iron and Steel Institute, Washington D.C.
- [3] AISI (2008). "AISI Manual Cold-Formed Steel Design." June 2009. American Iron and Steel Institute, Washington D.C.
- [4] CIRSOC 303. "Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Acero de Sección Abierta Conformados en Frío". Julio, 2009. Buenos Aires.
- [5] Covenin – Mindur (1998). "Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites 1618-1998". Caracas.
- [6] Fratelli, María. (2005). "Temas Especiales de Estructuras Metálicas. Estados Límites LRFD". Caracas. Ediciones Unive.

- [7] Herrera, Ricardo. (2007). "Perfiles Delgados". Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile.
- [8] NSR-10 – Capítulo F.4. "Estructuras de Acero con Perfiles de Láminas Formadas en Frío". Marzo, 2010. Bogotá D.C.
- [9] Pardo, Zulma S. (2010). "Diseño en Lámina Delgada 1. Según AISI S100-07, Complementarios y Adendas 2010". Libro Electrónico.
- [10] Ramírez Cristina. (2005). "Diseño de Estructuras de Acero Formado en Frío usando las Especificaciones AISI-96". México – D.F.
- [11] Allen, D. (2006, November). History of Cold Formed Steel. *STRUCTURE magazine*. Página 28-32
- [12] Wikipedia. Cold formed Steel .Recuperado en mayo, 20 de 2009. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cold-formed\\_steel](http://en.wikipedia.org/wiki/Cold-formed_steel)