

UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y MINAS.

 **Biblioteca Central Universitaria**

“ DISEÑO POR EL METODO ASD Y LRFD DE  
POLINES CONTINUOS A BASE DE PERFILES Z  
LAMINADOS EN FRÍO ATORNILLADOS A  
LAMINA CORRUGADA ”

  
**DISERTACION**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

1942

PRESENTAN:

**ESPINOZA MELENDREZ VICTOR ELOY  
LOPEZ PRIETO JORGE**

**Hermosillo, Sonora.**

**Septiembre del 2001.**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>2. LOS PERFILES LAMINADOS EN FRÍO.</b>	<b>2</b>
2.1 Definición.	2
2.2 Ventajas principales.	3
2.3 Tipos y usos de los perfiles laminados en frío.	4
2.3.1 Miembros estructurales individuales.	4
2.3.2 Paneles y decks.	9
2.4 Métodos de fabricación.	12
2.4.1 Método de la prensa.	12
2.4.2 Método de rolado.	13
<b>3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE POLINES Z CONTINUOS.</b>	<b>17</b>
3.1 Definición de términos generales.	17
3.2 Conceptos fundamentales.	33
3.2.1 Resistencia a flexión.	33
3.2.1.1 Inicio de fluencia.	34
3.2.1.2 Especificaciones aplicables del AISI 1996 y 1999, para calcular la resistencia a flexión.	35
3.2.2 Resistencia al pandeo lateral.	37
3.2.2.1 Secciones con simetría con respecto a un punto.	37
3.2.2.2 Criterios de diseño del AISI 1996 para establecer la resistencia por pandeo lateral.	40
3.2.2.3 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 de la resistencia. al pandeo latero-torsional para secciones abiertas.	40
3.2.3 Resistencia a cortante.	43
3.2.3.1 Esfuerzo cortante.	43
3.2.3.2 Resistencia nominal por cortante del almas sin agujeros.	44

3.2.3.3 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 para determinar la resistencia a cortante.	47
3.2.4 Resistencia por combinación de cortante y flexión.	49
3.2.4.1 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 para calcular la resistencia por flexión y cortante combinados.	50
3.2.5 Resistencia nominal al aplastamiento del alma.	51
3.2.5.1 Especificaciones aplicables del AISI 1996 y 1999 para calcular la resistencia al aplastamiento de almas no agujeradas.	54
3.2.6 Combinación de aplastamiento del alma y flexión.	62
3.2.6.1 Perfiles con almas simples no reforzadas.	62
3.2.6.2 Especificaciones aplicables del AISI 1996 y 1999 para Perfiles con almas sencillas no reforzadas.	64
3.2.6.3 Perfiles Z con almas empalmadas.	66
3.2.7 Vigas o Polines con patines unidos a lámina de cubierta o muro.	67
3.2.7.1 Especificaciones del AISI 1996 para vigas con un patín conectadas a lámina de cubierta o muro.	69
3.2.8 Requisitos de apoyos laterales en vigas.	72
3.2.8.1 Patín superior conectado a lámina de cubierta, deck o muro.	72
3.2.9 Ejemplos de diseño por el método ASD y LRFD.	77
<b>4. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.</b>	<b>116</b>
4.1 Conclusiones.	116
4.2 Sugerencias.	117
<b>ANEXOS.</b>	<b>118</b>
ANEXO I. "Tablas y formulas de propiedades geométricas no reducidas de perfiles Z".	
ANEXO II. "Tablas de diseño con respecto al eje fuerte de vigas a base de secciones Z con labio atiesador".	

- EXO III. "Tablas de diseño de aplastamiento en vigas de Secciones Z con labios atiesados".
- EXO IV. "Tablas de diseño de combinación de flexión y cortante de sección Z con labios atiesados".
- EXO V. "Diagramas y cargas de diseño de los ejemplos aplicados".
- EXO VI. "Secuencia de diseño de los ejemplos aplicados".

**LIOGRAFIA.**

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento incluye el desarrollo del procedimiento de diseño de polines Z continuos atornillados a una lámina corrugada, haciendo uso de las tablas y gráficas de diseño existentes.

El documento incluye una presentación general de los perfiles laminados en frío, sus principales usos, ventajas y métodos de fabricación. Se presenta también la fundamentación teórica y fundamental en que se basan las ecuaciones de diseño de las especificaciones del Instituto Americano de Hierro y Acero (AISI), para la determinación de los estados límites. Tales especificaciones son detalladas en este documento.

Debido a la escasa información técnica para el desarrollo de un procedimiento de diseño de polines Z continuos atornillados a una lamina corrugada, lo cual es común en nuestra actualidad en la edificación de cualquier nave industrial; el presente documento tiene como objetivo general brindar de manera precisa y clara, información con la que se podrá realizar una revisión para el caso especial de polines Z continuos atornillados a lámina corrugada.

El objetivo particular del documento es ofrecer un procedimiento confiable de diseño para la revisión de polines Z continuos atornillados a lámina corrugada, utilizando tablas y gráficas de diseño.

## **2. LOS PERFILES LAMINADOS EN FRÍO.**

### **2.1 Definición.**

La fabricación de estructuras de acero utilizadas principalmente para la construcción en espacios cerrados requiere de las distancias entre columnas que sean considerables y las alturas grandes.

Dichas estructuras deben de ser livianas y resistentes para que sean económicamente factibles. Las estructuras de acero son principalmente usadas en centros comerciales, plantas de manufactura e hipermercados. En estas estructuras predominan el uso de dos tipos de perfiles estructurales, los cuales se clasifican en función de su proceso de formación: los perfiles laminados en frío y los perfiles laminados en caliente. Como su nombre lo indica en los laminados en frío su proceso de formación se efectúa a temperatura ambiente y en los perfiles laminados en caliente su proceso de formación se efectúa a altas temperaturas.

En forma conjunta ambos tipos de perfiles trabajan para desarrollar la resistencia y rigidez de la estructura, pero por separado existen diferentes considerables en lo que respecta a su comportamiento estructural. El comportamiento de los laminados en frío está determinado por la consecuencia del laminado en frío sobre el material y por el uso predominante de materiales de espesores relativamente pequeños (espesores comunes desde 0.4 mm hasta 6.4 mm), que dan como resultados elementos esbeltos.

Debido a lo anterior y a su gran demanda en la construcción, los profesionales e investigadores de la ingeniería estructural se han visto obligados a elaborar especificaciones de diseño para dichos perfiles. La organización responsable del desarrollo de las especificaciones es el Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI por sus siglas en inglés "American Iron and Steel Institute"). La edición más reciente de dichas especificaciones fue realizada en 1996 y fue actualizada en 1999.

En el presente documento se tomará como referencia principal esta última edición y su actualización.

## 2.2 Ventajas principales.

Los perfiles laminados en frío incrementan su capacidad de carga debido al tipo de material y geometría del perfil. Una lámina delgada de acero no logra resistir una carga considerable, pero si esta lámina se dobla tomando un perfil estructural, en donde el doblado actúa como atiesador, una gran parte de la resistencia y rigidez de la sección dependerá de dicha configuración y no de su espesor. El perfil estructural presentará un incremento considerable en la capacidad de carga de la lámina original, teniendo además una relación de resistencia - peso que puede llegar a ser muy favorable en el perfil.

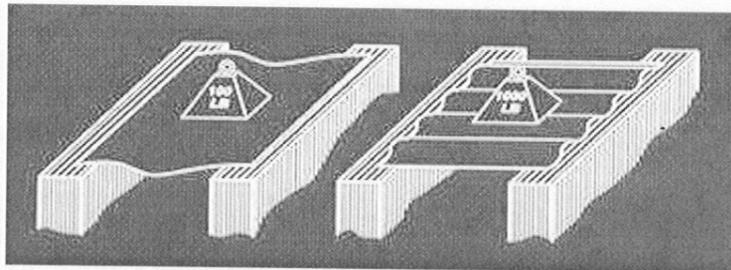


Fig. 2.1 Carga sobre lámina antes y después de doblar.

Algunas de sus ventajas principales de los perfiles laminados en frío son:

1. Son más ligeros que los perfiles laminados en caliente, además de ser más económicos para cargas livianas y/o claros cortos.
2. Se pueden formar secciones poco comunes para casos muy particulares de una manera muy económica sin incrementar el peso propio, por lo que se tiene una relación resistencia peso muy favorable.
3. Son muy económicos para el manejo y traslado, ya que la mayoría de los perfiles se pueden estibar logrando empaques compactos y por su poco peso reduce gastos de flete y evita el uso de maquinaria pesada.

4. El proceso de fabricación de los perfiles es en serie y bajo un sistema riguroso de control de calidad, por lo que la variabilidad de las propiedades geométricas y del material es mínima, lo que permite una mayor precisión en la predicción del comportamiento estructural.
5. Son perfiles prácticos para la construcción prefabricada. El uso de perfiles prefabricados reduce el trabajo de habilitado en campo y proporciona un mejor control de calidad en la construcción.
6. La utilización de este material como lámina corrugada en sistemas de pisos y en cubiertas, proporciona una capacidad de carga tal que se puede utilizar como una plataforma para los trabajos de construcción del mismo sistema.
7. Facilita el proceso de montaje de las estructuras debido al prehabilitado en taller (corte y barrenaciones) y a su ligereza.
8. Es muy durable, no se contrae, no presenta flujo plástico ni es susceptible al ataque de termitas, se le puede aplicar pintura anticorrosiva o galvanizada, y no propaga el fuego.

### **2.3 Tipos y usos de los perfiles laminados en frío.**

Los perfiles laminados en frío se dividen en dos grupos: los miembros estructurales individuales como primer grupo, los paneles y decks, como segundo grupo. A continuación se describen los dos grupos.

#### **2.3.1 Miembros estructurales individuales.**

Para arreglos estructurales típicos los perfiles usados más frecuentemente son los perfiles "C", los perfiles "Z", los angulares, los perfiles sombreros, los perfiles "I", los perfiles "T" y los perfiles tubulares o secciones cerradas.

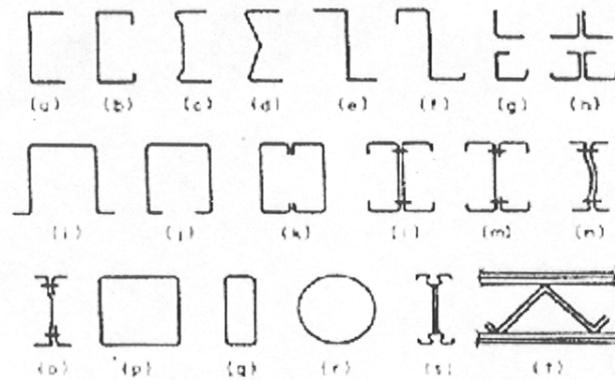
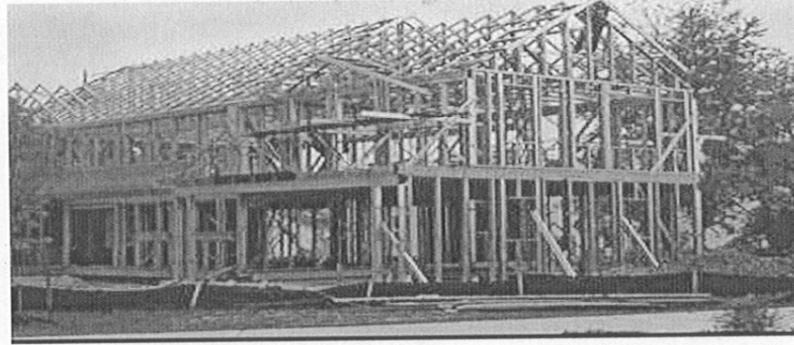


Fig. 2.2 Tipos de Miembros Estructurales.

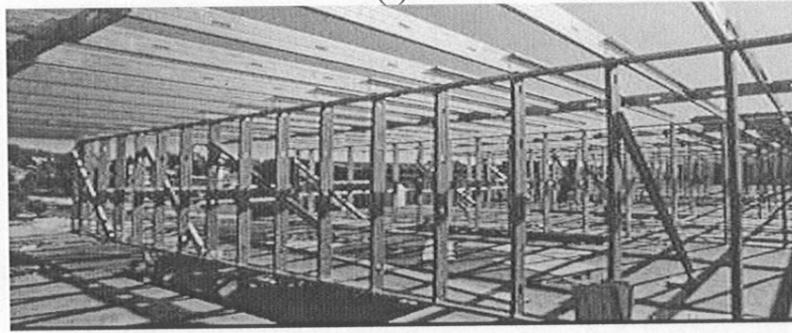
Los miembros estructurales individuales se clasifican en tres tipos de perfiles: abiertos, cerrados y compuestos (ver Fig. 2.2). Las dimensiones para estos perfiles varían desde 2 a 12 pulgadas (51 - 305 mm) de peralte y de 0.048 a 0.25 pulgadas (1.2 - 6.4 mm) de espesor. Aunque en la actualidad se fabrican perfiles con peralte hasta de 18 pulgadas (457 mm) y los espesores pueden tener como máximo 0.5 pulgadas (13 mm).

Los miembros estructurales se clasifican también en miembros primarios y secundarios, según su importancia para conservar la integridad de la estructura. Por lo general se considera a las vigas y columnas que forman los marcos principales como miembros primarios y como miembros secundarios a los polines, contravientos, contraflambeos (Sag Rods), láminas de cubierta o muros entre otros.

Los perfiles laminados en frío son utilizados como miembros primarios solo bajo condiciones especiales, como edificios de poca elevación, es decir de 3 niveles como máximo (ver Fig. 2.3).



(a)



(b)

Fig. 2.3 Estructuras compuestas por perfiles laminados en frío en su totalidad.  
(a) Estructura de baja altura; (b) Estructura de 1 nivel.



Fig.2.4 Centro comercial a base de marcos rígidos en la estructura primaria y joist a base de elementos laminados en frío y lámina corrugada en la estructura secundaria.

En la actualidad es mas común ver perfiles con agujeros prefabricados; los agujeros son hechos por el mismo fabricante con dimensiones y espaciamientos estandarizados. Una de las ventajas de los agujeros, es que permiten el paso de instalaciones ocultas en muros y pisos, (en la Fig.2.5 se pueden apreciar estos agujeros) aunque también pueden utilizarse con propósitos arquitectónicos. En la Fig.2.6 se muestra el uso de perfiles agujerados con fines arquitectónicos y en la Fig.2.7 se muestra como los agujeros en perfiles se utilizan para formar estantes o racks.



Fig. 2.5 Perfiles Agujerados con fines estructurales.



Fig.2.6 Perfiles agujerados con fines arquitectónicos en estructura principal de la cubierta.



Fig.2.7 Estantería comercial o racks formados con perfiles laminados en frío.

Los laminados en frío se usan también como estructura principal en cubiertas (ver Fig. 2.9), y como elementos de cuerdas y diagonales de estructuras triodéticas (ver Fig. 2.8).

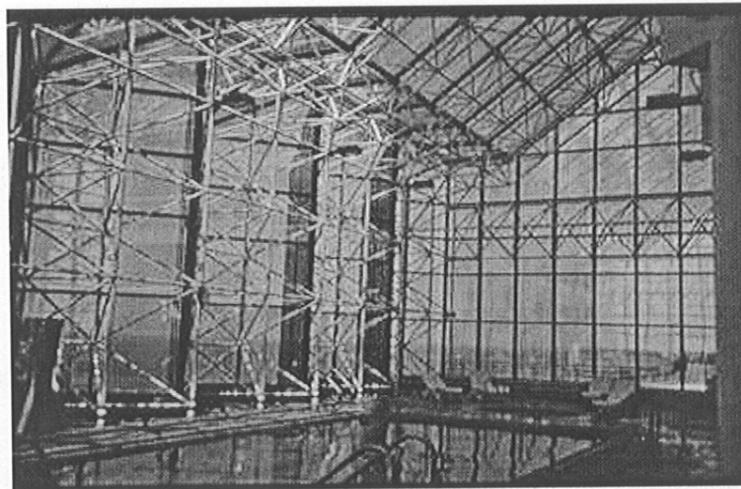


Fig. 2.8 Estructura triodética a base de perfiles laminados en frío.



Fig. 2.9 Estructura para cubierta a base de perfiles laminados en frío.

### 2.3.2 Paneles y Decks.

Estos perfiles se utilizan generalmente en sistemas de muro y en sistemas de piso y cubierta. Los paneles y decks usuales se presentan en la Fig. 2.10.

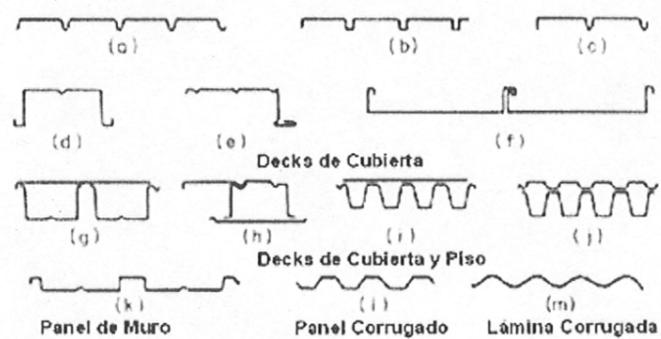
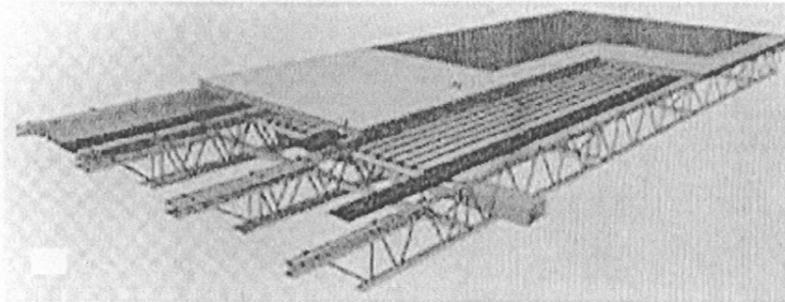


Fig. 2.10 Paneles y decks laminados en frío.

Las dimensiones comunes de paneles y decks se encuentran alrededor de 1.5 a 7.5 pulgadas (38 a 191 mm) y de 0.018 a 0.075 pulgadas (0.5 a 1.9 mm) de espesor. Las distancias comunes entre valles para láminas corrugadas son de 1.5 a 3 pulgadas (32 a 76 mm) y los peraltes van desde 0.25 a 1.0 pulgadas (6.4 a 15 mm). Cabe mencionar que en la actualidad variaciones a estas dimensiones típicas son muy comunes.

En el punto 2.1 se mencionó que estos perfiles no solo pueden resistir cargas si no que también sirven como plataformas de trabajo para colar pisos. Existen sistemas de piso a base de deck-joist y deck-estructura, donde el deck actúa tanto como refuerzo primario a flexión como plataforma de colado para un sistema de piso de concreto (ver Fig. 2.11).



(a)



(b)

Fig. 2.11 Sistemas de piso de concreto con deck de lámina actuando como esfuerzo primario del concreto. (a) sistemas de piso con estructura de acero a base de jois laminado en frío; (b) Sistema de piso con estructura de acero laminado en caliente.

Para sistemas especiales se han creado sistemas de decks para cubierta a base de hipérbolas paraboloides, láminas cilíndricas, láminas dobladas, láminas engargoladas con costuras sobresalientes (ver Fig. 2.12 y Fig. 2.13). Algunos de estos sistemas se pueden diseñar para trabajar como membranas o cascarones;

dichos sistemas pueden transmitir directamente las cargas a los apoyos (columnas, muros, cimentaciones, etc.), sin tener que utilizar estructura principal o secundaria.



Fig. 2.12 Sistema de cubierta a base de lámina engargolada con costuras sobresalientes.

Los paneles de lámina se pueden usar para cubrir parcial o totalmente muros de edificios (ver Fig.2.13). Para los muros parciales de lámina la parte inferior del muro se fabrica de block, ladrillo o concreto. Este proceso de edificación se usa normalmente en edificios de manufactura donde las maniobras de montacargas y de personas pueden ocasionar problemas de mantenimiento para muros de lámina. Los muros completos de lámina se recomiendan únicamente donde se tomen medidas prácticas para evitar posibles impactos o desgastes.

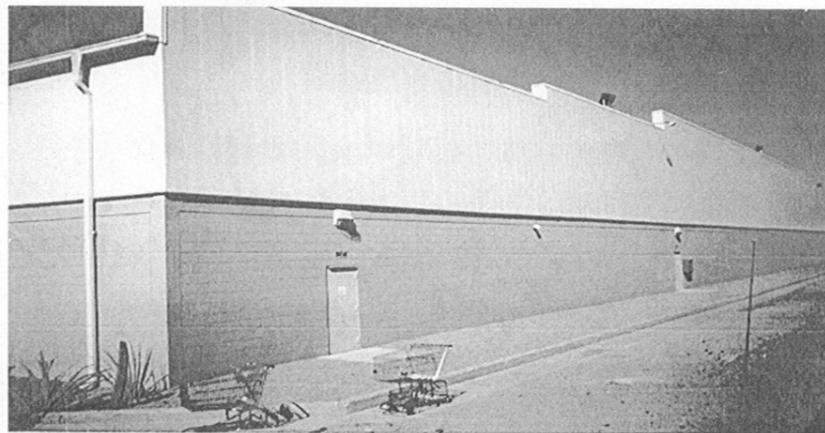


Fig. 2.13 Edificio con muros fabricados parcialmente con panel de lámina.

## 2.4 Métodos de fabricación.

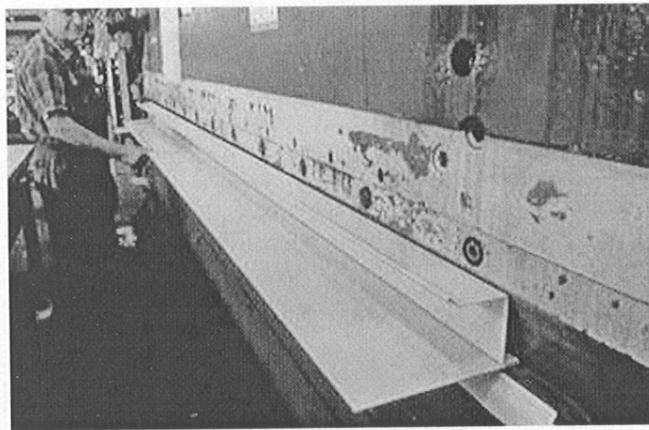
Se manejan dos tipos de fabricación de perfiles laminados en frío: El método de la prensa y el método de rolado. A continuación se describen brevemente ambos métodos:

### 2.4.1 Método de la prensa.

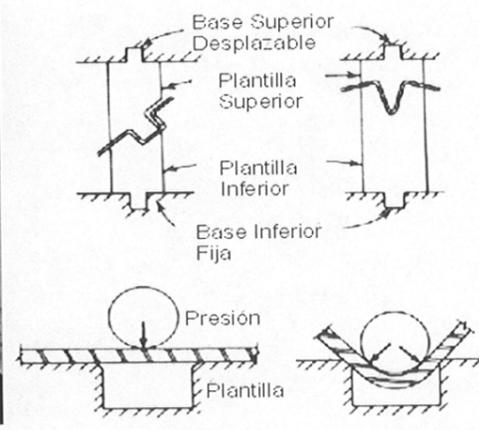
El método de la prensa es económico si se cumplen las condiciones siguientes:

1. La configuración del perfil debe tener una geometría sencilla que no requiera más de dos movimientos de la prensa para su formación final.
2. La cantidad de producción necesaria es menor de 92 metros por minuto.
3. La sección a producir debe de ser ancha [mayor de 18" (457 mm)], secciones para decks y paneles.

Este método consiste en el uso de una prensa donde la longitud de las plantillas en relación con su ancho es mucho mayor. La plantilla se coloca sobre una cama estacionaria que al bajar la prensa, presiona la lámina dándole la geometría del molde. En algunos casos la plantilla se coloca sobre la prensa. Perfiles C,Z, y angulares se pueden formar con la prensa, ya que no requieren más de dos movimientos (ver Fig. 2.14 ).



(a)



(b)

Fig. 2.14 Método de la prensa (Fabricación de perfiles)

#### **2.4.2 Método de Rolado.**

Este método se trabaja alimentando longitudinalmente la lámina a una serie de rodillos, que van doblando de una forma progresiva hasta formar el perfil deseado.

Una sección simple requiere habitualmente seis pares de rodillos, pero una sección compleja puede llegar a requerir de 15 a 20 pares. El material de los rodillos es normalmente de acero endurecido, los cuales pueden ser posesionados en forma vertical u horizontal. La gran mayoría de las roladoras presentan los dos tipos de posiciones.

Normalmente las máquinas de rolado ya cuentan con un conjunto de rodillos para las secciones estándar C y Z. Cuando el fabricante requiere cambiar a otro perfil debe de colocar otro conjunto de rodillos. Esto por lo general requiere de un tiempo considerable, por lo tanto, debe de tenerse en cuenta el volumen de producción a realizar, para que el impacto por los costos del cambio sobre la sección terminada no sea grande. Esto es aplicable en la fabricación de perfiles con geometría complicada. Un ejemplo de esto es el proceso de rolado de la columna arquitectónica ilustrada en la Fig. 2.15 (b). En este caso en especial se observa de una manera sencilla como cada paso de los rodillos va dando una forma hasta llegar a la configuración final.

Para este caso si la velocidad de fabricación se establece en 26 metros/min, 305 metros pueden ser rolados en 1 hora y 33 minutos. Debido a que la máquina requiere de 6 horas con 48 minutos para colocar la disposición de rodillos necesaria, miles de piezas deberán de ser fabricadas para hacer al método de rolado el método económico de fabricación.

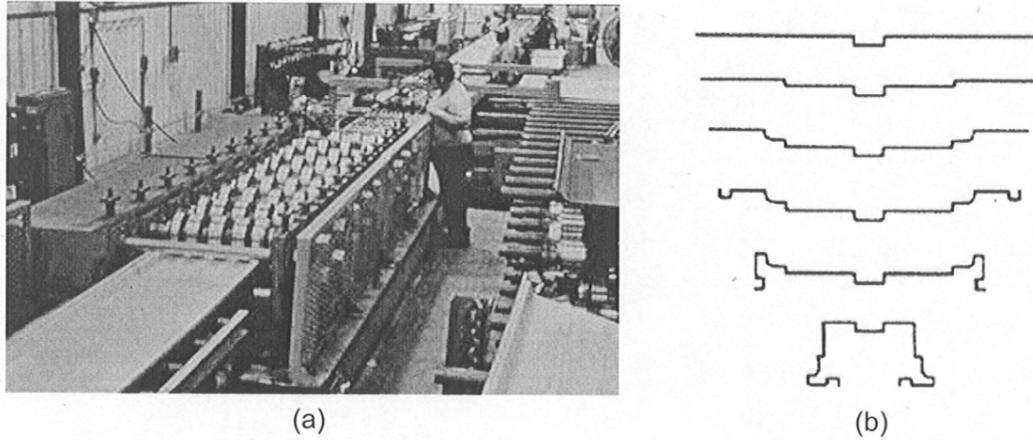


Fig. 2.15 (a) Máquina roladora; (b) Proceso de rolado de una columna arquitectónica.

Una de las ventajas principales de este método es que el acero puede alimentarse de carretes de hasta 96 pulgadas (244 mm) de ancho y 300 pies (915 metros) de longitud. Esto acelera el proceso notablemente. Las velocidades más frecuentes son de 23 a 46 metros/min las cuales pueden variar de 6 a 92 metros/min. Los perfiles ya terminados son cortados con una máquina de corte automático, donde las longitudes de corte son de 6 a 12 metros, las cuales pueden variar.

Las dimensiones comunes de secciones que pueden ser fabricadas por el método de rolado se observan en la Fig. 2.16.

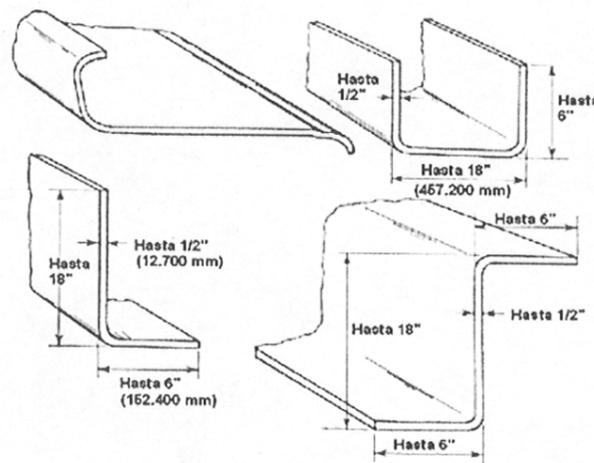


Fig. 2.16 Rango de dimensiones típicas para perfiles laminados en frío.

El rolado de una sección tiene las tolerancias definidas según el tamaño, el tipo de perfil y el espesor del material. Las tolerancias representativas de la industria se observan a continuación:

1. Longitud de pieza, usando máquina automática de corte:  
 $\pm 1/64$  a  $1/8$  pulgada (0.4 a 3.2 mm).
2. Rectitud o torcedura:  $\pm 1/64$  a  $1/8$  pulgada (0.4 a 3.2 mm) en diez pies (3 metros).
3. Dimensiones de la sección:
  - Fracional:  $\pm 1/64$  a  $1/16$  pulgada (0.4 a 1.6 mm).
  - Decimal:  $\pm 0.005$  a  $0.015$  pulgada (0.1 a 0.4 mm).
4. Ángulos:  $\pm 1$  a  $2$  grados.

En la Tabla 2.1 se observa las tolerancias de fabricación aprobadas por la asociación de Fabricantes de Edificios Metálicos de EEUU (MBMA por sus siglas en inglés: "Metal Building Manufacturers Association") para secciones C y Z laminados en frío que se utilizan en edificios metálicos. La simbología utilizada en la Tabla 2.1 se ilustra en la Fig. 2.17.

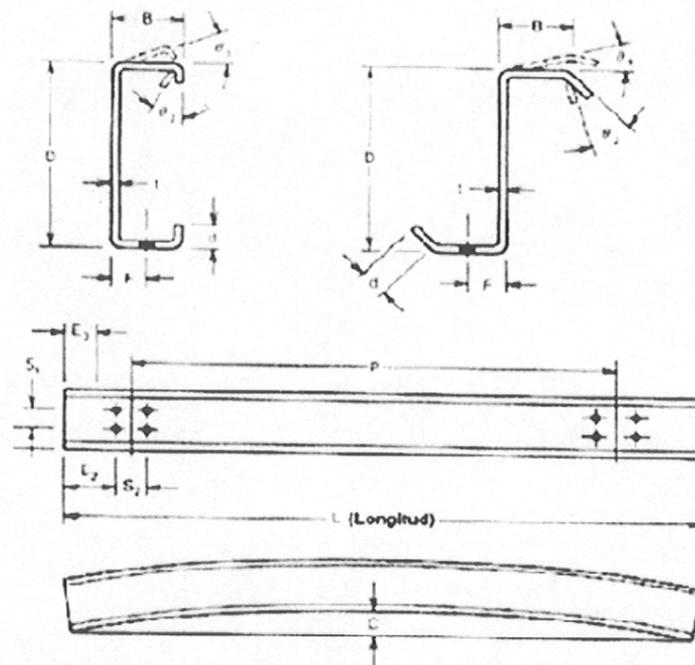


Fig. 2.17 Simbología usada en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Tolerancias de Fracciones de la MBMA.

Dimensiones	Tolerancias, pulgadas (mm)	
	+	-
Geometría		
D	0.188 (4.76)	0.188 (4.76)
B	0.188 (4.76)	0.188 (4.76)
D	0.375 (9.53)	0.125 (3.18)
$\theta_1$	3°	3°
$\theta_2$	5°	5°
Ubicación de barrenos		
E <sub>1</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E <sub>2</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E <sub>3</sub>	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
S <sub>1</sub>	0.063 (1.59)	0.063 (1.59)
S <sub>2</sub>	0.063 (1.59)	0.063 (1.59)
F	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
P	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
L	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
Deformación C (L en pies)	0.025L (0.635L)	
Espesor mínimo t	0.95 x t de diseño	

### 3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE POLINES Z CONTINUOS

Para proporcionar al lector una ayuda al adentrarse en este tema, es recomendable brindarle una relación de los términos generales más comúnmente usados dentro del diseño de perfiles laminados en frío.

#### 3.1 Definición de Términos generales.

##### 1. Elementos a compresión no atiesados.

Son elementos con un borde atiesado en la dirección paralela al esfuerzo y con el otro extremo libre. Ejemplos de este tipo de elementos son: el elemento vertical de un angular, el perfil a compresión C, el patín de compresión de un perfil sombrero invertido (ver Fig. 3.1).

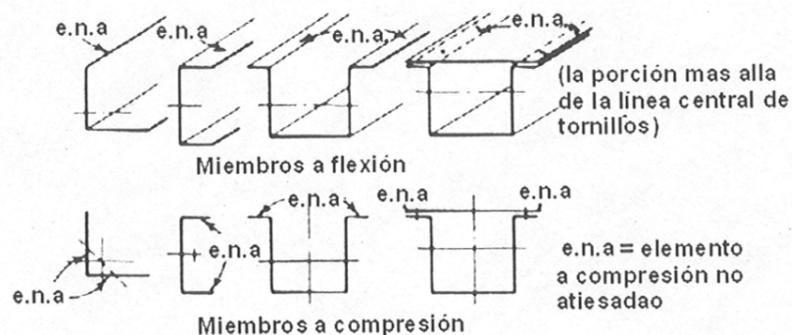


Fig. 3.1 Perfiles con elementos a compresión no atiesados.

##### 2. Elementos a compresión atiesados.

Este tipo de elementos puede ser también parcialmente o totalmente atiesados, definiéndose como un elemento plano donde ambas orillas paralelas a la dirección del esfuerzo están atiesados; estos elementos los cuales pueden ser atiesados por un alma, patín, labio atiesador, atiesador intermedio u alguna otra forma similar (ver Fig. 3.2).

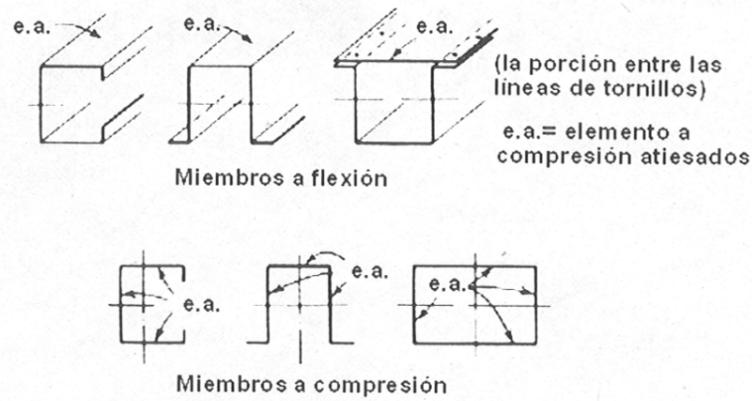


Fig. 3.2. Perfiles con elementos a compresión atiesados o parcialmente atiesados.

3. Ancho plano y espesor  $w$ .

El ancho plano, es la longitud recta de un elemento, sin tomar en cuenta los dobleces de la sección. Para un patín no atiesado el ancho será el segmento recto o la sección recta medida desde el final del segmento de la curva adyacente al alma, hasta el extremo libre (ver Fig. 3.3).

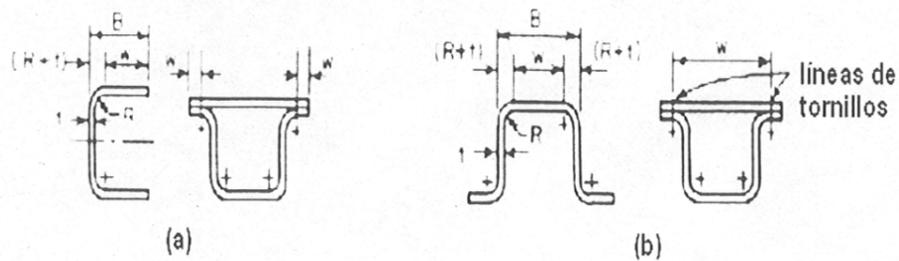


Fig. 3.3 Definición de ancho plano. (a) Elementos a compresión no atiesados. (b) Elementos a compresión atiesados.

4. Relación ancho plano  $w/t$ .

Es la relación de ancho  $w$  medido en el plano del elemento con respecto a su espesor  $t$ . Enseguida se presentan los valores máximos de  $w/t$  y  $h/t$  para patines y almas respectivamente dados en la sección B1.1 del AISI 1996.

a) Máximos Valores de la relación w/t en patines.

1. Elementos atiesados a compresión, teniendo una orilla longitudinal conectada a un alma o patín y la otra orilla atiesada por:

Labio atiesador  $(w/t)_{\max} = 60$

Cualquier otro tipo atiesador

i) Cuando  $I_s < I_a$   $(w/t)_{\max} = 60$

ii) Cuando  $I_s \geq I_a$   $(w/t)_{\max} = 90$

2. Elementos no atiesados a compresión  $(w/t)_{\max} = 60$

b) Máximos Valores de la relación h/t en almas.

La relación h/t de almas en miembros a flexión deberán cumplir con las siguientes condicionantes:

1. Para almas no reforzadas  $(h/t)_{\max} = 200$

2. Para almas con atiesadores transversales que cumplen con los requisitos de la sección B6.1 del AISI.

i) Cuando se usan únicamente atiesadores de carga.  $(h/t)_{\max} = 260$

ii) Para cuando se usan atiesadores de carga Intermedios.  $(h/t)_{\max} = 300$

En donde h es el peralte de la parte recta del alma, sin contar las curvas del dobléz y t es el espesor del alma. La relación h/t se deberá calcular para cada placa en caso de que el alma se componga de dos o más placas.

5. Momento de Inercia  $I_s$ .

Momento de inercia del atiesador de borde con respecto a su propio eje centroidal paralelo al plano del elemento que se desea atiesar; la esquina redondeada entre el atiesador y el elemento a ser atiesado no se considera como parte del atiesador.

$$I_s = \frac{(d^3 t)}{12} \quad (3.1)$$

Donde:

d = Ancho plano del atiesador de borde.

t = Espesor del perfil.

6. Momento de Inercia  $I_a$ .

Momento de inercia del atiesador de borde requerido para que el elemento a compresión se comporte como un elemento atiesado.

Donde  $I_a$  se determina de la siguiente forma:

a). Caso I: para  $w/t \leq S/3$

$$I_a = 0 \quad (\text{no requiere atiesador de borde})$$

$$b = w$$

$$d_s = d'_s \quad \text{Para un atiesador de labio}$$

$$A_s = A'_s \quad \text{Para atiesadores con otra geometría}$$

b). Caso II: para  $S/3 < w/t < S$ :

$$I_a/t^4 = 399 \left[ (w/t)/S - \sqrt{k_u/4} \right]^3 \quad (3.2)$$

$$n = 1/2$$

$$C_2 = I_s/I_a \leq 1 \quad (3.2a)$$

$$C_1 = 2 - C_2 \quad (3.2b)$$

b deberá ser calculada de acuerdo a la sección 3.2.1.1

$$k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u \quad (3.3)$$

$$k_u = 0.43$$

Para labios atiesados simples con  $140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$  y  $D/w \leq 0.80$  donde  $\theta$  se ilustra en la Fig.3.4.

$$k_a = 5.25 - 5(D/w) \leq 4.0 \quad (3.4)$$

$$d_s = C_2 d'_s \quad (3.4a)$$

$$A_s = C_2 A'_s \quad (3.4b)$$

c). Caso III:  $w/t \geq S$ :

$$I_a/t^4 = [115(w/t)/S] + 5 \quad (3.5)$$

$$C_1, C_2, b, k, d_s, A_s, \text{ se calculan acorde el caso II con } n=1/3. \quad (3.6)$$

Donde:

$A_s$  = Area reducida del atiesador de borde a ser usada para calcular las propiedades efectivas de la sección.

$A'_s$  = Area efectiva del atiesador de borde; la esquina redondeada entre el atiesador y el elemento a ser atiesado no se consideran como parte del atiesador.

$$A'_s = d'_s t \quad (3.7)$$

$$S = 1.28(E/F_y)^{1/2}$$

$C_1$  = Coeficiente definido en la Fig.3.4.

$C_2$  = Coeficiente definido en la Fig.3.4.

$D$  = Peralte total del atiesador de borde.

$d$  = Ancho plano del atiesador de borde.

$d_s$  = Ancho efectivo reducido del atiesador de borde calculado acorde a esta sección se deberán usar para calcular las propiedades efectivas del elemento.

$d'_s$  = Ancho efectivo del atiesador calculado acorde esta sección.

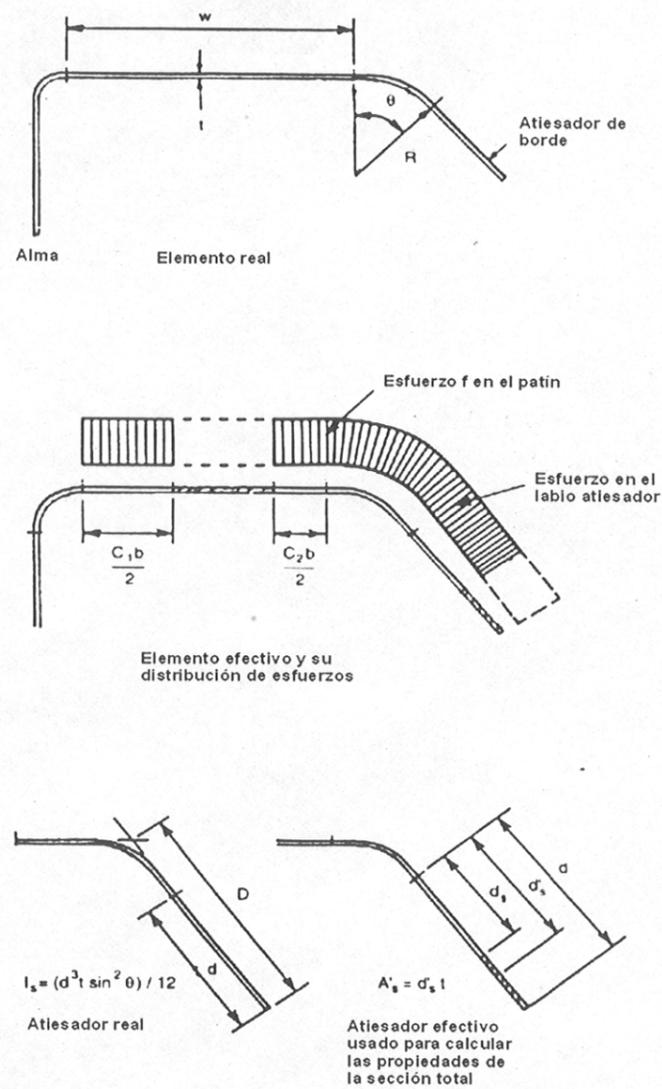


Fig.3.4 Elementos a compresión con atiesadores de borde.

#### 7. Ancho efectivo de diseño $b$ .

El ancho efectivo de un elemento es la parte del ancho que se reduce cuando la relación  $w/t$  excede de un cierto límite y es una variable que se utiliza para calcular propiedades de flexión y compresión en perfiles estructurales. En la Fig. 3.5 y 3.6 se pueden observar los anchos efectivos para varios perfiles. Las porciones sombreadas corresponden a las partes no efectivas de los elementos de cada perfil.

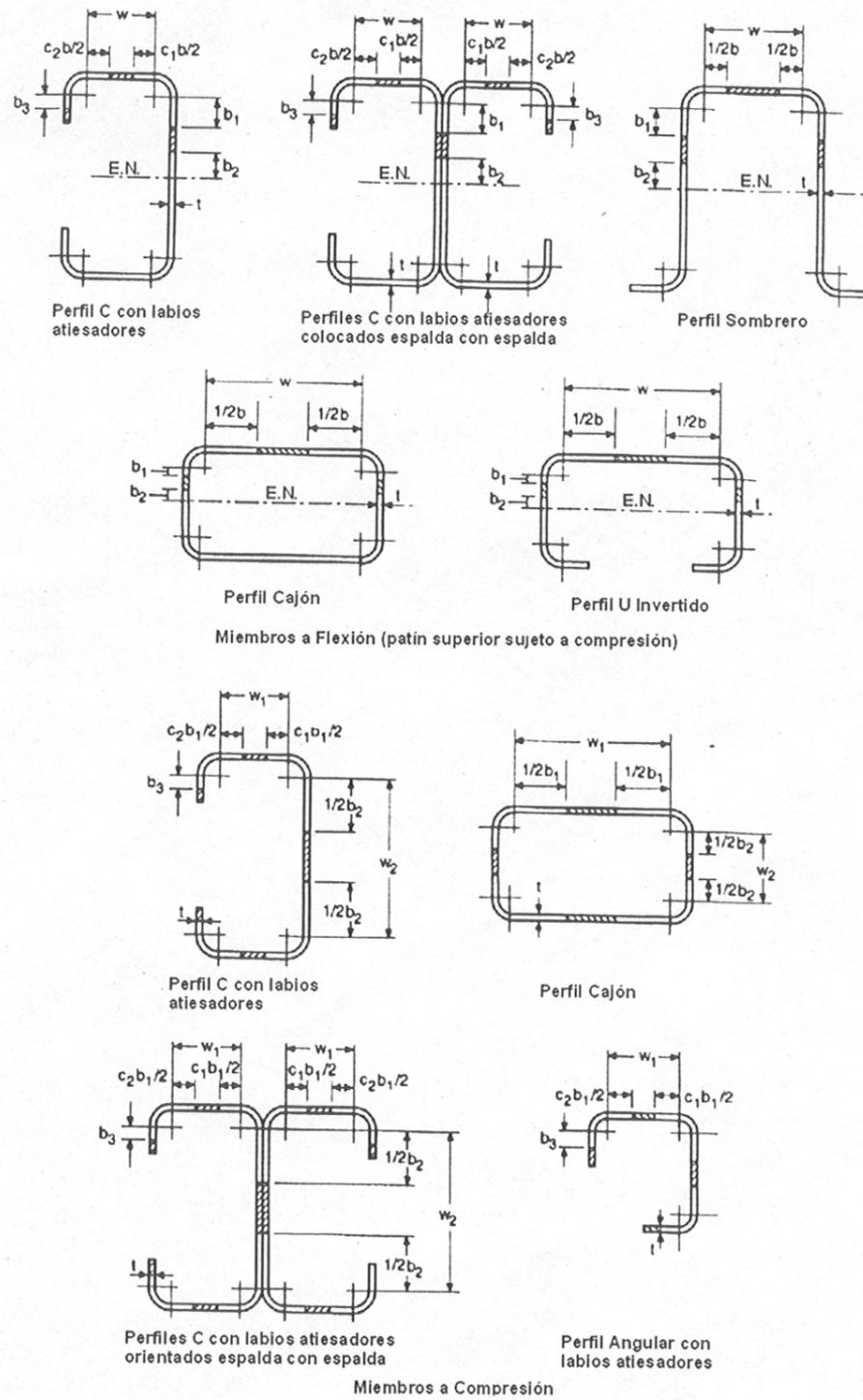


Fig. 3.5 Anchos efectivos de perfiles con elementos a compresión atiesados.

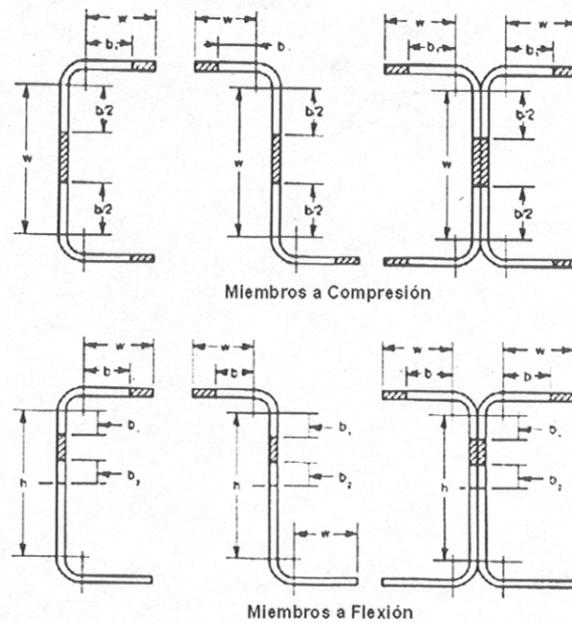


Fig. 3.6 Anchos efectivos de perfiles con elementos a compresión no atiesados.

8. Espesor  $t$ .

Esta característica del perfil se usa para el cálculo de propiedades del perfil y en diseño se considera solamente el espesor del acero sin contar recubrimientos (capas de pintura anticorrosiva o galvanizados). Para efectos de control, el AISI 1996 Sección A3.4 indica que el espesor real del perfil debe ser por lo menos el 95% del espesor de diseño, con excepción de los dobleces, en donde el laminado en frío puede reducir su dimensión, aunque por lo general esta reducción es del orden del 1 al 3% y en los cálculos para propiedades del perfil puede ser ignorado.

9. Sección Simétrica con respecto a un punto:

Perfiles cuya geometría es simétrica con respecto a un punto que normalmente coinciden con el centroide de la sección.

10. Resistencia de Diseño.

Es la resistencia a carga axial, cortante o momento según sea el caso, para un perfil estructural y esta puede ser factorizada  $\phi R_n$  o permisible  $R_n/\Omega$ , dependiendo sí el método de diseño utilizado es LRFD o ASD, respectivamente.

11. Cargas Nominales.

Son las cargas sin factorizar obtenidas por medio de códigos locales oficiales (reglamentos de construcción).

12. Resistencia Nominal.

Es la capacidad que tiene un elemento o estructura para resistir los efectos de carga. Esta capacidad se obtiene por medio del cálculo de propiedades geométricas y mecánicas, a través de ecuaciones derivadas de la mecánica estructural o pruebas de campo y laboratorio. El AISI provee las ecuaciones para el cálculo de la resistencia nominal y son independientes al método de diseño que se desee usar (ASD, LRFD) e incluye los factores de resistencia  $\phi$  o permisibles  $\Omega$ , según el método que se utilice.

13. Resistencia Requerida.

Es el efecto resultante de carga (carga axial, momento, cortante) que se determina en el análisis estructural de un elemento o estructura, el cual se basa en cargas factorizadas o nominales, utilizando las combinaciones de carga más desfavorables que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir durante la vida útil del elemento estructural.

14. Esfuerzo de fluencia mínimo especificado.

Es el esfuerzo de fluencia mínimo que debe alcanzar el acero estructural al momento de aplicársele una prueba de carga y se toma como un requisito para aceptar un lote de acero estructural con el que se fabricarán perfiles laminados en frío.

15. Esfuerzo de fluencia.

Es el  $F_y$  o  $F_{sy}$  del acero, tal como lo indica el AISI 1996.

16. Esfuerzo.

Como lo describe el AISI, es la fuerza por unidad de área.

17. Carga de extremo en un patín (EUP).

Es la carga concentrada que actúa en uno de los extremos de la viga, a una distancia menor que  $1.5 h$  de cualquiera de los apoyos de la viga. Donde  $h$  es longitud recta del peralte del perfil sin contar la longitud de los dobleces de la sección.

18. Carga interior en un patín (IUP).

Es la carga concentrada que actúa sobre un punto interior de la viga, a una distancia mayor o igual que  $1.5 h$  de cualquiera de los apoyos de la viga.

19. Carga de extremo en dos patines (EDP).

Condición de carga en la que actúan dos cargas concentradas en sentido opuesto en el extremo de la viga, separadas una de otra una distancia menor de  $1.5 h$ .

20. Carga interior en dos patines (IDP).

En esta condición de carga, actúan dos cargas concentradas de la misma manera que en la condición de carga EDP, sólo que en el interior de la viga.

21. Índice de confiabilidad  $\beta$ .

Este índice sirve para obtener un valor relativo de seguridad en el diseño. Por ejemplo, si se calcula un índice  $\beta$  para dos diseños, el valor mayor de  $\beta$  entre los dos corresponde al diseño más confiable.

22. Diseño por Esfuerzos Permisibles ASD ("Allowable Stress Design").

En ASD, las resistencias requeridas (momentos flexionantes, fuerzas axiales, fuerzas cortantes, etc.) de los elementos estructurales son calculadas por procedimientos aceptados del análisis estructural a partir de las combinaciones de carga aplicables del AISI 1996. Estas resistencias requeridas no deben exceder las resistencias permisibles de diseño prescritas por el AISI. La resistencia permisible de diseño se determina dividiendo la resistencia nominal entre un factor de seguridad, o sea:

$$R_a = \frac{R_n}{\Omega} \quad (3.8)$$

Donde:  $R_a$  = Resistencia Permisible de Diseño.

$R_n$  = Resistencia Nominal

$\Omega$  = Factor de Seguridad.

El objetivo del factor de seguridad es el de compensar por las incertidumbres inherentes en los valores de las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos estructurales, en la precisión de los modelos teóricos y/o experimentales que describen la resistencia nominal, así como en la estimación de valores y distribución de las cargas aplicadas. Los valores de los factores de seguridad para las diversas resistencias requeridas se encuentran prescritos en las especificaciones de diseño. La experiencia dicta que el uso de dichos factores de seguridad resulta en diseños satisfactorios. Como se mencionó anteriormente, el ASD considera un solo factor de seguridad por resistencia requerida.

De acuerdo con la sección A5.1.1 del AISI 1996, un diseño satisface los requisitos de la especificación cuando el valor de la resistencia permisible,  $R_a$ , de cada componente estructural es mayor o igual a la resistencia requerida,  $R$ , determinada en base a las cargas nominales, para todas las combinaciones de carga aplicables, esto es,

$$R_a \geq R \quad (3.9)$$

- Cargas de Diseño

Las cargas nominales de diseño normalmente se especifican en los códigos de diseño vigentes en la localidad donde se realizará la construcción de la estructura. En la ausencia de dichos códigos, la Sección A4.1 del AISI 1996 estipula el uso de las cargas dadas por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles o ASCE (por sus siglas del inglés: "American Society of Civil Engineers") en el documento "Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras". Los siguientes símbolos y definiciones describen las cargas reconocidas por el AISI 1996:

D = Carga muerta, que consiste en:

- (a) el peso propio del elemento.
- (b) el peso de todo el material de construcción incorporado al edificio, el cual es soportado por el elemento, incluyendo muros fijos.
- (c) el peso de equipo permanente.

E = Carga Sísmica.

F = Cargas debidas a fluidos con presiones y alturas máximas bien definidas.

L = Cargas vivas debidas al uso deseado del edificio, incluyendo las cargas debidas objetos movibles, muros movibles y las cargas temporales a las que estará sujeta la estructura durante su mantenimiento. L puede incluir cualquier reducción permitida por la especificación de diseño. Si la resistencia al impacto debe considerarse en el diseño, tal efecto deberá incluirse en la carga viva.

$L_r$  = Carga viva de azotea o cubierta.

S = Carga debido a acumulación de nieve.

$R_r$  = Carga debida a lluvia, excepto la debida al estancamiento de agua en cubiertas.

H = Cargas debidas al empuje lateral de tierra y del agua incluida en la tierra.

P = Cargas, fuerzas y efectos debidos al estancamiento de agua.

T = Fuerzas y efectos debidos a cambios volumétricos producidos por gradientes de temperatura, cambios de humedad, flujo plástico de elementos constitutivos, asentamientos diferenciales de cimentaciones, u combinaciones de éstas.

W = Cargas de viento.

- Combinaciones de Carga

En la ausencia de un código de diseño aplicable o si dicho código no incluye combinaciones de carga compatibles con ASD, la Sección A5.1.2 del AISI 1996 especifica que la estructura y sus componentes sean diseñados de tal manera que su resistencia permisible de diseño sea mayor o igual que el efecto de las cargas nominales para las siguientes combinaciones de carga:

1. D
2.  $D + L + (L_r \text{ o } S \text{ o } R_r)$
3.  $D + (W \text{ o } E)$
4.  $D + L + (L_r \text{ o } S \text{ o } R_r) + (W \text{ o } E)$

Nótese que el AISI permite solo la consideración de una de las cargas de techo,  $L_r$ ,  $S$  o  $R_r$ , la que sea más crítica, al combinarse con la carga gravitacional ( $D + L$ ). Así mismo, el AISI no permite la consideración simultánea de la carga sísmica  $E$  y de viento  $W$  en las combinaciones de carga estipuladas. Se recomienda para cargas de diseño por viento:  $0.75(D-W)$ .

Estas restricciones tienden a evitar diseños innecesariamente conservadores ocasionados por cargas cuyos efectos combinados tienen una probabilidad despreciable de ocurrir.

Cuando los códigos de diseño aplicables incluyen cargas sísmicas o de viento en sus combinaciones de carga estipuladas, la Sección A5.1.3 permite que las fuerzas resultantes sean multiplicadas por un factor de reducción de 0.75. Además, cuando el modelo de carga sísmica estipulado por el código de construcción vigente está basado en criterios de estados límites (ver punto 23 Art.3.1), la carga sísmica resultante  $E$  se podrá reducir por un factor de 0.67. La Sección A5.1.3 no permite la aplicación de estos factores de reducción cuando se evalúen diafragmas de acuerdo a lo estipulado en la Sección D5 de la especificación. El factor de reducción de 0.75 pretende tomar en cuenta la naturaleza altamente localizada y de corta duración que

tienen las cargas sísmicas y de viento sobre las estructuras, así como la poca probabilidad de que todos los valores máximos de las cargas consideradas en combinación con las cargas sísmicas y/o de viento ocurran al mismo tiempo. Por otro lado, la reducción de 0.67 al valor de E pretende hacer a dicho valor compatible con las combinaciones de carga del método LRFD.

La Sección A5.1.4 establece también la inclusión de las cargas F, H, P y T en las combinaciones de carga antes descritas, siempre y cuando sus efectos sean considerables y que tengan una probabilidad considerable de ocurrir simultáneamente con las otras cargas consideradas en dichas combinaciones. Se requiere considerar los efectos de estancamiento de agua en cubiertas o azoteas cuando las pendientes son muy bajas o nulas y/o cuando no se cuenta con un sistema de drenaje adecuado que permita el desalojo rápido del agua. La Sección K2 de las especificaciones del AISC 1989 y 1993 contienen procedimientos aceptables para el cálculo de dichos efectos, los cuales pueden ser usados para el diseño de perfiles laminados en frío.

Finalmente, el Comentario del AISI 1996 recomienda que cuando los decks de acero sean usados en construcción compuesta de entresijos y azoteas, éstos decks sean diseñados para soportar la carga muerta del concreto, el peso propio del deck y la carga viva de construcción. La carga de construcción está basada en la carga secuencial del concreto tal como lo estipula en el Estándar 3-91 del ANSI/ASCE y en el Manual de Diseño del Instituto del Deck de Acero o SDI 1995 (por sus siglas del inglés: "Steel Deck Institute").

### 23. Diseño por Factor de Carga y Resistencia ("Load and Resistance Factor Design"):

El método LRFD está basado en el criterio de estados límites, de hecho, a éste método se le conoce también como método de diseño por estados límites o LSD (por sus siglas del inglés: "Limit States Design"). Un estado límite define la condición ante la cual un elemento o miembro estructural bajo carga se ve afectado a tal grado

que deja de ser seguro para los ocupantes de la estructura, o dicho elemento deja de desarrollar la función para la cual fue diseñado. Estados límites típicos en perfiles laminados en frío incluyen el alcanzar la resistencia por fluencia, por pandeo, por postpandeo, desarrollar deformaciones o vibraciones excesivas, etc. Estos estados límites han sido establecidos por experiencia en la práctica profesional o en experimentos de laboratorio y han sido extensamente investigados y documentados en la literatura especializada.

El método LRFD establece dos tipos de estados límites:

1. Estados Límites de Resistencia: Define el alcance de la resistencia de un elemento estructural bajo cargas extremas.
2. Estados Límites de Servicio: Define el alcance del límite de la habilidad de un elemento estructural a desarrollar la función para la cual fue diseñado.

El concepto del estado límite no es de uso exclusivo de LRFD. En ASD, la ecuación fundamental de diseño dada por la Ec. (3.9) define un estado límite de resistencia (permisible). En el caso de los estados límites de servicio, la Sección A8 del AISI 1996, no establece diferencias entre los métodos ASD y LRFD.

A diferencia del método ASD, el método LRFD emplea diversos factores de carga y de resistencia que logran un refinamiento en el diseño al tomar en cuenta los diversos grados de incertidumbre y variabilidad en las propiedades de los materiales, en la estimación de cargas y en los procedimientos de análisis. La ecuación fundamental del método LRFD que define el estado límite de resistencia y que satisface los requisitos de seguridad estructural de las especificaciones del AISI 1996 es la siguiente:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (3.10)$$

Donde  $R_n$  = Resistencia nominal

$Q_i$  = Efectos de carga

$\phi$  = Factor de resistencia correspondiente a  $R_n$

$\gamma_i$  = Factor de carga correspondiente a  $Q_i$

$\phi R_n$  = Resistencia de diseño

$\Sigma \gamma_i Q_i$  = Resistencia requerida para las cargas factorizadas

La resistencia nominal  $R_n$  es la resistencia de un elemento o miembro para un estado límite dado, calculada a partir de las propiedades nominales de la sección y para valores mínimos de las propiedades del material, de acuerdo al modelo analítico que define a la resistencia. El factor de resistencia  $\phi$  toma en cuenta la incertidumbre y variabilidad inherente en  $R_n$  y es usualmente menor que la unidad. Los efectos de carga  $Q_i$  son los elementos mecánicos en la sección transversal (momentos flexionantes, fuerzas axiales y cortantes) determinados a partir de las cargas nominales mediante procedimientos conocidos del análisis estructural y  $\gamma_i$  son los factores de carga correspondientes que toman en cuenta la incertidumbre y variabilidad inherente en la estimación de las cargas y/o sus efectos.

Es evidente que el método LRFD representa un avance notable sobre el ASD, ya que permite tomar en cuenta en diseño los diversos grados de incertidumbre y variabilidad en la estimación de resistencias y cargas. El método LRFD permite el reconocimiento explícito en las ecuaciones de diseño del grado de incertidumbre y variabilidad en las cargas al prescribir factores de carga diferentes para cargas muertas, vivas, sísmicas y de viento. Inclusive prescribe valores distintos para los factores de cargas, dependiendo de la combinación de carga considerada, permitiendo establecer un modelo de carga más realista. Así mismo, el método LRFD puede considerar el grado de predicción de los diversos modelos analíticos usados para calcular la resistencia, al prescribir factores de resistencia menores a los modelos que muestran mayor grado de dispersión en sus pronósticos de resistencia que a los modelos que exhiben predicciones más consistentes. Otro avance

importante del método LRFD sobre el ASD es la incorporación de modelos probabilísticos que permiten obtener una confiabilidad más consistente en diseño. Por consiguiente, LRFD provee una base más racional y refinada para el diseño que la que puede proveer el ASD.

### **3.2 Conceptos Fundamentales.**

#### **3.2.1 Resistencia a Flexión.**

Los miembros sujetos a flexión y cortantes son usados para soportar cargas transversales o momentos aplicados. Los usos más típicos en estructuras metálicas, son en sistemas de piso, en sistemas de cubierta ligeras, en sistemas de muros entre otros. El sistema de piso generalmente son llamados vigas. En el caso de los sistemas de cubierta ligera y muros se les conocen por el nombre de polines.

Al diseñar vigas o polines, se debe considerar la capacidad de resistir momentos y la rigidez del elemento calculada a partir de las propiedades efectivas de la sección. Para el diseño de elementos a flexión, no se deben de exceder los estados límites de falla, brindándole suficiente resistencia por flexión y al mismo tiempo se deben de cuidar los estados límites de servicio.

El diseño de elementos a flexión presenta 2 procedimientos de diseño para el cálculo de la resistencia a flexión. El procedimiento 1 se rige por el "inicio de fluencia" y el Procedimiento 2 se rige en la "capacidad inelástica de reserva". En este trabajo no se considera el procedimiento 2, ya que las limitaciones establecidas por el AISI para su uso no son generalmente cumplidas por los perfiles "Z" de fabricación nacional.

### 3.2.1.1 Inicio de Fluencia.

En este procedimiento el momento nominal,  $M_n$ , de la sección es igual al momento de fluencia efectivo,  $M_y$ , obtenido en base de las áreas efectivas de los patines y almas en las vigas.

El momento de fluencia  $M_y$  es el valor del momento que ocasiona que el esfuerzo en la fibra extrema (de tensión, de compresión o de ambas) alcance el esfuerzo de fluencia del acero.

Tomando en cuenta estas consideraciones, la resistencia nominal para el inicio de fluencia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$M_n = M_y = S_e F_y \quad (3.11)$$

Donde:  $F_y$  = Esfuerzo de fluencia de diseño.

$S_e$  = Módulo de sección elástico de la sección efectiva con la fibra de compresión o de tensión bajo fluencia ( $F_y$ ).

El modulo elástico  $S_e$  es calculado normalmente mediante uno de los dos procedimientos siguientes:

1. Si el eje neutro se encuentra más próximo al patín de tensión, el esfuerzo máximo se presenta en el patín de compresión, y por consiguiente la relación de esbeltez del patín  $\lambda$  y el ancho efectivo,  $b$ , del patín de compresión se determinarán a partir de la relación  $w/t$  y  $f = F_y$  y las Ecs. (3.12) y (3.13), respectivamente. Este mismo procedimiento aplica para las vigas cuyo eje neutro se encuentra localizado al centro del perfil.

El ancho efectivo de diseño  $b$  se determina basándose en las siguientes expresiones:

$$b = w \quad \text{cuando } \lambda \leq 0.673$$

$$b = \rho w \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \leq 1.0 \quad (3.12)$$

$$\lambda = (1.052/\sqrt{k})(w/t)\sqrt{f/E} \quad (3.13)$$

Donde:

- t = Espesor del elemento sujeto a compresión uniforme.
- f = Esfuerzo en el acero que se obtiene de la siguiente manera:
- E = Modulo de elasticidad.
- k = Coeficiente de pandeo de la placa.

Para los valores de k se establecen en la tabla 3.1.

2. Si el eje neutro se encuentra más próximo al patín de compresión, el esfuerzo máximo se presenta en el patín de tensión. El valor del esfuerzo en el patín de compresión dependerá de la ubicación del eje neutro, la cual se calcula considerando el área efectiva de la sección y se obtiene si se conoce primero el esfuerzo en el patín de compresión, lo cual nos arroja el cálculo de las propiedades de la sección mediante aproximaciones sucesivas.

### 3.2.1.2 Especificaciones Aplicables del AISI 1996 y 1999, para Calcular la Resistencia a Flexión.

El momento de flexión de diseño se obtiene a partir de la resistencia nominal por flexión y un factor de seguridad o de resistencia, dependiendo del método de diseño en consideración. Las expresiones siguientes representan las ecuaciones generales de diseño por flexión para ASD y LRFD:

1. Método ASD:  $M_a = (M_n / \Omega_b) \geq \sum M_i$  (3.14)

2. Método LRFD:  $\phi_b M_n \geq \sum \gamma_i M_i$  (3.15)

- Donde:  $M_a$  = Momento flexionante permisible.  
 $\Omega_b$  = Factor de seguridad para flexión.  
 $\sum M_i$  = Combinación aplicable debido a cargas de servicio.  
 $\phi_b$  = Factor de resistencia por flexión.  
 $\gamma_i$  = Factor de carga correspondiente al momento  $M_i$ .  
 $\gamma_i M_i$  = Combinación aplicable de momentos factorizados.  
 $M_n$  = Resistencia nominal a flexión.

La sección C3.1.1 del AISI 1996 establece los siguientes valores del factor de seguridad y de resistencia, los cuales deberán de ser aplicados a  $M_n$  por inicio de fluencia para obtener los momentos de diseño.

1. Para secciones con patines de compresión atiesados o parcialmente atiesados:

$$\Omega_b = 1.67 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_b = 0.95 \quad (\text{LRFD})$$

2. Para secciones con patines de compresión no atiesados:

$$\Omega_b = 1.67 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_b = 0.90 \quad (\text{LRFD})$$

### 3.2.2 Resistencia al Pandeo Lateral.

Este estado límite se presenta comúnmente al ocurrir inestabilidad en el patín de compresión de la viga. Como el patín es estable en el plano perpendicular del alma, debido al arriostramiento que le provee la misma, el patín tiende a pandearse lateralmente en el plano perpendicular al alma. Cuando se presenta el pandeo lateral en el patín, toda la viga sigue el mismo efecto, presentando pandeo lateral de la viga. Al mismo tiempo, la deformación lateral de la viga genera componentes del momento flexionante sobre el eje longitudinal de la viga (momentos torsionantes) que provocan que la sección gire dando como resultado el pandeo latero-torsional.

Por otro lado la gran esbeltez de los perfiles laminados en frío los hace propensos al pandeo local. El pandeo local de alguno de los elementos del perfil sujetos a compresión puede impedir que las fibras extremas de compresión y/o tensión del perfil alcancen la fluencia; este efecto también puede presentarse antes o durante el pandeo latero-torsional.

#### 3.2.2.1 Secciones con Simetría con Respecto a un Punto.

Las secciones simétricas con respecto a un punto, como las secciones Z con patines iguales, presenta mayor resistencia al pandeo que las secciones con simetría doble y sencilla. La ecuación siguiente se usa para determina el momento crítico elástico de secciones Z con simetría con respecto aun punto y flexionadas con respecto al eje centroidal perpendicular al alma:

$$(M_{cr})_e = \frac{C_b r_o A \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}}{2} \quad (3.16)$$

Expresando la Ec. (3.16) en términos de esfuerzos se obtiene:

$$F_e = \frac{C_b r_o A \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}}{2S_f} \quad (3.17)$$

En lugar de las Ecs.(3.16) y (3.17), las siguientes ecuaciones simplificadas pueden ser usadas para calcular el momento y esfuerzo crítico elástico de secciones Z:

$$(M_{cr})_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2L} \quad (3.18)$$

$$F_e = \frac{C_b \pi^2 E d I_{yc}}{2S_f L} \quad (3.19)$$

Donde: A = Area de la sección completa.  
 S<sub>f</sub> = Módulo de sección elástico de la sección completa, no reducida con respecto a la fibra extrema a compresión.  
 E = Módulo de elasticidad (2.073X10<sup>3</sup>).  
 I<sub>yc</sub> = Momento de inercia de la porción a compresión.  
 d = Peralte del perfil.  
 L = Longitud del elemento.  
 C<sub>b</sub> = Coeficiente de Momento.

$$\sigma_{ey} = \frac{(\pi^2 E)}{(K_y L_y / r_y)^2} \quad (3.20)$$

$$\sigma_t = \frac{1}{A r_o^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (3.21)$$

$K_y, K_t$  = Factores de longitud efectiva para flexión con respecto al eje y y para torsión.

$L_y, L_t$  = Longitud entre apoyos laterales para flexión con respecto al eje y y para torsión.

$$r_o = (r_x^2 + r_y^2 + x_o^2)^{1/2}$$

$r_x, r_y$  = Radios de giro de la sección con respecto a los ejes principales.

$X_o$  = Distancia en x del centro de cortante al centroide, tomado como negativo.

$C_w$  = Constante de alabeo.

$G$  = Módulo de cortante =  $E/2(1+\mu)$

$J$  = Constante de torsión de St. Venant. de la sección.

Donde: 
$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{(2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C)} \quad (3.22)$$

$M_{max}$  = Valor absoluto del máximo momento en el segmento entre apoyos laterales.

$M_A$  = Valor absoluto del momento a un cuarto del claro del segmento entre apoyos laterales.

$M_B$  = Valor absoluto del momento al centro del segmento entre apoyos laterales.

$M_C$  = Valor absoluto del momento a tres cuartos del claro del segmento entre apoyos laterales.

$C_b$  puede tomarse conservadoramente como igual a uno para todos los casos.  $C_b$  deberá ser tomado como igual a uno para segmentos en voladizo cuando el extremo libre no tiene apoyo lateral y para miembros sujetos a combinación de carga axial y flexión.

### 3.2.2.2 Criterios de Diseño del AISI 1996 para Establecer la Resistencia por Pandeo Lateral.

La sección C3.1.2.1 del Suplemento 1999 del AISI 1996 contiene los procedimientos de diseño para obtener el momento nominal  $M_n$  a ser usado en las ecuaciones generales de diseño para vigas sujetas a pandeo lateral.

Estas especificaciones aplican a secciones I, C y Z y otras secciones con simetría simple (excepto decks con múltiples almas, secciones U y cajón, así como secciones curvas y de arco). Estas especificaciones no aplican a secciones con patines de compresión sin apoyo lateral u otras secciones con estabilidad lateral. Tampoco consideran efectos torsionantes como los que resultan de cargas cuya resultante no pasa por el centro de cortante de la sección. Para secciones C y Z con el patín de tensión unido a lámina, consultar la sección C3.1.3 del AISI 1996.

### 3.2.2.3 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 de la Resistencia al Pandeo Latero-Torsional para Secciones Abiertas.

La resistencia nominal,  $M_n$ , para los segmentos entre apoyos laterales para secciones con simetría doble, simple y con respecto a un punto, sujetas a pandeo lateral deberá calcularse con la siguiente expresión:

$$M_n = S_c F_c \quad (3.23)$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

Donde:  $S_c$  = Módulo de sección elástico para la sección efectiva calculada para un esfuerzo  $f = F_c$  en la fibra extrema a compresión.

$F_c$  = Esfuerzo crítico elástico o inelástico de pandeo latero-torsional calculado de la siguiente manera:

$$\text{Para } F_e \geq 2.78F_y: \quad F_c = F_y \quad (3.24)$$

$$\text{Para } 2.78F_y > F_e > 0.56F_y: \quad F_c = \frac{10}{9}F_y \left(1 - \frac{10F_y}{36F_e}\right) \quad (3.25)$$

$$\text{Para } F_e \leq 0.56F_y: \quad F_c = F_e \quad (3.26)$$

Como se muestra en la Fig. 3.7, si  $F_e$  excede la relación  $2.78F_y$  correspondiente a  $F_c=F_y$  el esfuerzo crítico será gobernado por pandeo inelástico. Si la relación  $0.56F_y$  es mayor que  $F_e$ , el esfuerzo crítico será gobernado por pandeo elástico. La curva de pandeo inelástico puede ser representada por la siguiente ecuación parabólica:

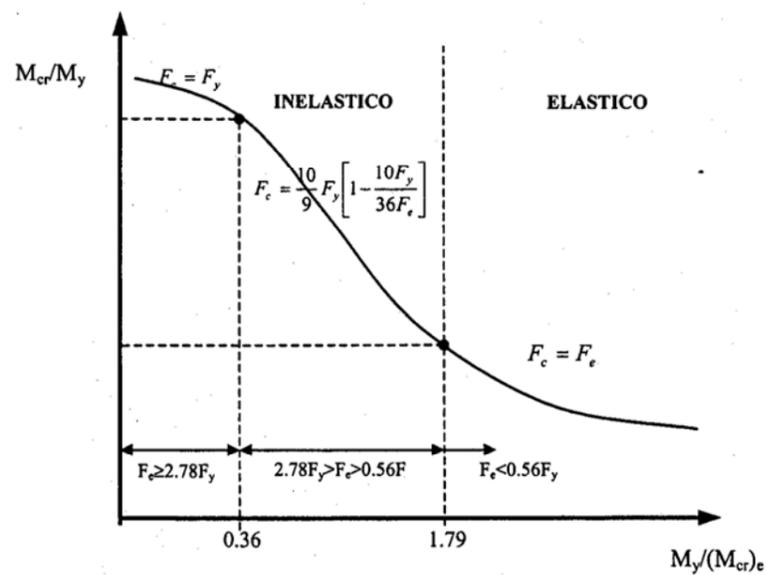


Fig.3.7 Comportamiento de Vigas Z sujetas a pandeo latero-torsional en función del esfuerzo  $F_e$ .

Donde:  $F_e$  = Esfuerzo crítico elástico o inelástico de pandeo latero-torsional calculado de acuerdo a los casos (a) o (b) de la siguiente manera:

Caso (a) Secciones con simetría doble, simple y con respecto a un punto:  
Para flexión con respecto al eje de simetría:

$$F_e = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t} \quad (3.27)$$

Donde:  $S_f$  = Módulo de sección elástica de la sección completa, no reducida con respecto a la fibra extrema a compresión.

El eje x de las secciones Z es el eje perpendicular al alma. De manera alternativa,  $F_e$  puede ser calculada usando las ecuaciones para secciones con simetría doble y con respecto a un punto dadas en el caso (b).

Caso (b) Secciones Z flexionadas con respecto al eje centroidal perpendicular al alma (eje x):

$$F_e = \frac{\pi^2 E C_b d I_{yc}}{2 S_f L^2} \quad (3.28)$$

Donde:  $I_{yc}$  = momento de inercia de la porción a compresión.

d = peralte del perfil.

L = Longitud del elemento.

$S_f$  = Módulo de sección elástica de la sección completa, no reducida con respecto a la fibra extrema a compresión.

E = Módulo de elasticidad ( $2.073 \times 10^3$ ).

Los demás términos se definieron con anterioridad.



### 3.2.3 Resistencia a Cortante.

#### 3.2.3.1 Esfuerzo Cortante.

En el diseño de vigas, el esfuerzo cortante en la sección de la viga puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$f_v = \frac{VQ}{It} \quad (3.29)$$

Donde:  $f_v$  = Esfuerzo cortante.

$V$  = Fuerza cortante externa total en la sección.

$Q$  = Momento estático del área entre la fibra extrema y la ubicación particular donde se desea calcular el cortante, tomado con respecto al eje neutro.

$I$  = Momento de inercia de la sección total con respecto al eje neutro.

$t$  = Espesor de la sección donde se desea calcular el cortante.

La ecuación anterior proporciona valores exactos en cualquier ubicación, pero se ha comúnmente usado en el cálculo de esfuerzos cortante para diseño la ecuación siguiente:

$$f_v = \frac{V}{ht_w} \quad (3.30)$$

Donde:  $h$  = Peralte de la porción plana del alma medida en el plano del alma.

$t_w$  = Espesor de la sección donde se desea calcular el cortante.

### 3.2.3.2 Resistencia Nominal por Cortante del alma sin agujeros.

Si un alma esta sujeta a esfuerzo cortante y su relación  $h/t$  es relativamente pequeña, entonces, la resistencia de la viga estará gobernada por fluencia, con un esfuerzo máximo aproximado de  $0.60 F_y$  en el eje neutro. Por lo tanto, el esfuerzo nominal cortante,  $\tau_n$ , para tales almas es:

$$\tau_n = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \approx 0.60F_y \quad (3.31)$$

La resistencia nominal a cortante por fluencia,  $V_n$ , se obtiene multiplicando al esfuerzo nominal cortante dado por la Ec (3.31) por el área del alma  $ht$ , esto es,

$$V_n = 0.60F_y ht \quad (3.32)$$

Para almas con relación  $h/t$  grandes, la resistencia a cortante del alma estará gobernada por pandeo por cortante. El esfuerzo crítico de pandeo elástico por cortante esta dado por:

$$\tau_{cr} = \frac{k_v \pi^2 E}{12(1 - \mu^2)(h/t)^2} \quad (3.33)$$

- Donde:  $k_v$  = Coeficiente de pandeo por cortante.  
 $E$  = Módulo de elasticidad del acero.  
 $\mu$  = Relación de poisson,  $\mu = 0.30$ .  
 $h$  = Peralte del alma.  
 $t$  = Espesor del alma.

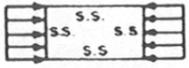
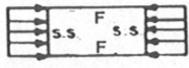
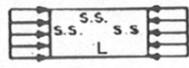
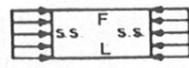
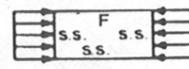
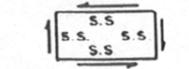
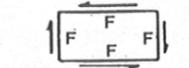
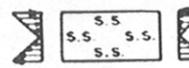
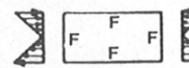
En la Ec. (3.33) el valor de  $k_v$  depende de las condiciones de apoyo y de las relaciones de aspecto  $a/h$  (ver Fig. 3.8). Para valores de  $k_v$  ver tabla 3.1. Sustituyendo el valor de  $\mu=0.30$  en la Ec.(3.23) se obtiene:

$$\tau_{cr} = \frac{0.905k_v E}{(h/t)^2} \quad (3.34)$$

Por lo tanto, la resistencia nominal a cortante para pandeo elástico se puede tomar como,

$$V_n = \frac{0.905k_v E}{(h/t)^2} ht = \frac{0.905k_v Et^3}{h} \quad (3.35)$$

Tabla 3.1 valores de k para determinar el esfuerzo crítico de pandeo.

Caso	Condición de Frontera	Tipo de Esfuerzo	Valor de k para placa larga
(a)		Compresión	4.0
(b)		Compresión	6.97
(c)		Compresión	0.425
(d)		Compresión	1.277
(e)		Compresión	5.42
(f)		Cortante	5.34
(g)		Cortante	8.98
(h)		Flexión	23.9
(i)		Flexión	41.8

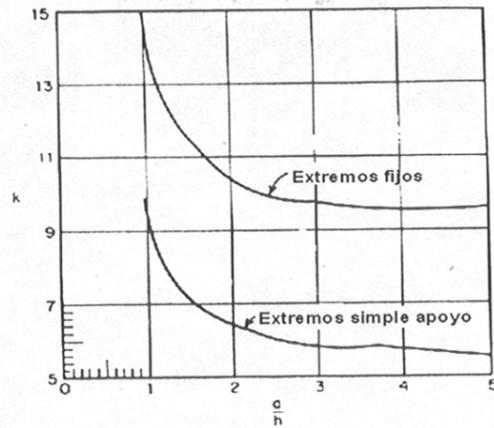


Fig.3.8 Variación del coeficiente de pandeo por cortante con respecto a la relación de aspecto a/h.

Para almas con relaciones h/t típicas, los valores calculados del  $\tau_{cr}$ , son reducidos para reflejar el cambio en el modulo de elasticidad, proponiéndose la siguiente formula:

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{pr} \tau_{cri}} \quad (3.36)$$

Donde:  $\tau_{pr}$  = Límite de proporcionalidad por cortante =  $0.80\tau_y = 0.80F_y/\sqrt{3}$ .

$\tau_{cri}$  = Esfuerzo crítico de pandeo por cortante dado por la Ec.(3.33)

Substituyendo los valores  $\tau_{pr}$  y  $\tau_{cri}$  en la Ec.(3.35) se obtiene la ecuación siguiente que representa el esfuerzo de cortante por pandeo en el rango inelástico:

$$\tau_{cr} = \frac{0.64\sqrt{k_v F_y E}}{h/t} \quad (3.37)$$

Por lo tanto, la resistencia nominal a cortante para pandeo inelástico es:

$$V_n = \frac{0.64\sqrt{k_v F_y E}}{h/t} (ht) = 0.64t^2 \sqrt{k_v F_y E} \quad (3.38)$$

### 3.2.3.3 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 para determinar la Resistencia a Cortante.

De acuerdo con la sección C3.2.1 del AISI 1996, el cortante de diseño se obtiene a partir de la resistencia nominal por cortante y factor de seguridad o de resistencia por cortante, según el método de diseño usado, ASD o LRFD. Las expresiones siguientes representan las ecuaciones generales para ambos métodos.

1. Método ASD: 
$$V_a = \frac{V_n}{\Omega_v} \geq \sum V_i$$

2. Método LRFD: 
$$\phi_v V_n \leq \sum \gamma_i V_i$$

Donde:  $V_a$  = Resistencia permisible a cortante.

$\Omega_v$  = Factor de seguridad para cortante.

$\sum V_i$  = Combinación aplicable de cortantes debido a cargas de servicio.

$\phi_v$  = Factor de resistencia por cortante.

$\gamma_i$  = Factor de carga correspondiente al cortante  $V_i$ .

$\sum \gamma_i V_i$  = Combinación aplicable de cortante factorizada.

$V_n$  = Resistencia nominal de cortante determinada a partir de las consideraciones de diseño siguientes.

(a) Para  $h/t \leq 0.96\sqrt{EK_v/F_y}$

$$V_n = 0.60F_y ht \quad (3.39)$$

$\Omega_u = 1.50$  (ASD)

$\phi_v = 1.0$  (LRFD)

(b) Para  $0.96\sqrt{EK_v/F_y} \leq h/t \leq 1.415\sqrt{EK_v/F_y}$

$$V_n = 0.64t^2\sqrt{EK_vF_y} \quad (3.40)$$

$\Omega_u = 1.67$  (ASD)

$\phi_v = 0.90$  (LRFD)

(c) Para  $h/t \geq 1.415\sqrt{EK_v/F_y}$

$$V_n = \frac{\pi^2 Ek_v t^3}{12(1-\mu^2)h} = 0.905Ek_v t^3 / h \quad (3.41)$$

$\Omega_u = 1.67$  (ASD)

$\phi_v = 0.90$  (LRFD)

Donde:  $V_n$  = Resistencia nominal a cortante.

$E$  = Módulo de elasticidad del acero.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia del alma de la viga.

$h$  = Peralte del alma.

$t$  = Espesor del alma.

$k_v$  = Coeficiente de pandeo determinado de la siguiente manera:

1. Para vigas no reforzadas  $k_v = 5.34$

2. Para vigas con atiesadores de carga (no aplica para este caso).

Cuando las vigas tengan dos o más almas, cada alma se deberá considerar como un elemento por separado, soportando su proporción correspondiente del cortante total.

### 3.2.4 Resistencia por Combinación de Cortante y Flexión.

Cuando en los apoyos interiores de vigas continuas, coinciden esfuerzos elevados de cortante y flexión, las almas pueden pandearse a esfuerzos menores que cuando el alma esta únicamente sujeta a flexión o cortante. Tales almas deben ser protegidas contra la falla debido a la combinación de cortante y flexión.

En la Fig. 3.9 se observa la interacción entre  $f_b/f_{cr}$  y  $\tau/\tau_{cr}$ , donde  $f_b$  es el esfuerzo actuante a flexión,  $f_{cr}$  es el esfuerzo crítico de pandeo para la flexión pura,  $\tau$  es el esfuerzo actuante a cortante,  $\tau_{cr}$  es el esfuerzo crítico de pandeo para cortante puro. De la Fig. 3.9 la Ec. (3.32) se aproxima entre  $f_b/f_{cr}$  y  $\tau/\tau_{cr}$  para rangos de  $a/h$  de 0.50 a 1.0.

$$\left(\frac{f_b}{f_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2 = 1 \quad (3.42)$$

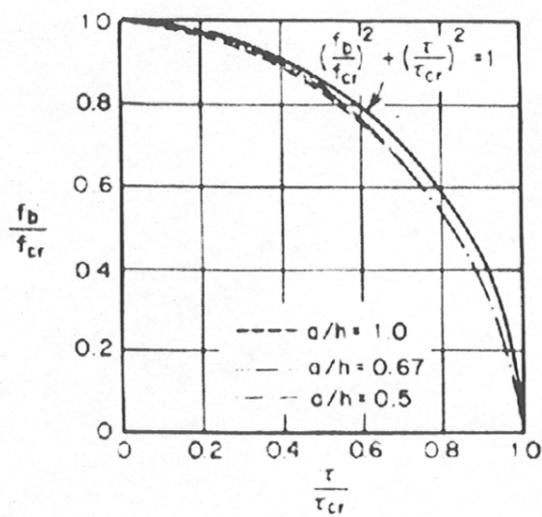


Fig. 3.9 Relación de interacción entre  $f_b/f_{cr}$  y  $\tau/\tau_{cr}$

### 3.2.4.1 Especificaciones del AISI 1996 y 1999 para Calcular la Resistencia por Flexión y Cortante Combinados.

Las ecuaciones de diseño de AISI tienen distintas presentaciones, dependiendo del método de diseño a usar. Enseguida se exponen las especificaciones para los métodos ASD y LRFD.

#### 3.2.4.1a Método ASD.

Para vigas con almas sin atiesadores, la resistencia a flexión requerida,  $M$ , y la resistencia a cortante requerida,  $V$ , deberán cumplir con la ecuación de interacción siguiente:

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad (3.43)$$

Donde:  $\Omega_b$  = Factor de seguridad por flexión (Ver Art.3.2.1.1).

$\Omega_v$  = Factor de seguridad por cortante (Ver Art.3.2.3.2).

$M_n$  = Resistencia nominal a flexión para flexión pura.

$M_{nxo}$  = Resistencia nominal a flexión por inicio de fluencia con respecto al eje centroidal x.

$V_n$  = Resistencia nominal a cortante.

#### 3.2.4.1b Método LRFD.

Para vigas con almas sin atiesadores, la resistencia requerida a flexión,  $M_u$  y la resistencia requerida a cortante,  $V_u$  deberán cumplir con la ecuación de interacción siguiente:

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad (3.44)$$

Donde:  $\phi_b$  = Factor de resistencia por flexión.

$\phi_v$  = Factor de resistencia por cortante.

### 3.2.5 Resistencia Nominal al Aplastamiento del Alma.

Uno de los principales factores que se deben tomar en cuenta para el diseño de perfiles laminados en frío, es el del aplastamiento en el alma. El aplastamiento ocurre a causa de grandes cargas concentradas o reacciones que actúan localmente en un punto de la viga. Este tipo de fallas causadas por reacciones en apoyos, puede ser evitado mediante el uso de placas o angulares de conexión, los cuales se fijan a la viga principal, para de esta manera reforzar el alma de la viga. También se puede evitar el aplastamiento mediante el empalme de vigas de sección "Z" sobre los apoyos, ya que en este punto trabajan dos almas para la misma reacción. La Fig.3.10 ilustra los tipos de fallas que causa este fenómeno, sobre almas sencillas no restringidas y almas dobles restringidas.

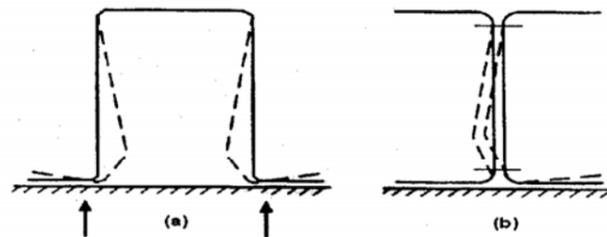


Fig.3.10 Aplastamiento de almas en vigas.

#### 3.2.5.1 Resistencia Nominal al Aplastamiento de Almas sin Agujeros.

La carga crítica de pandeo para placas rectangulares aisladas bajo la acción local de cargas distribuidas puede ser calculada por la siguiente expresión:

$$P_{cr} = \frac{k\pi^2 Et^3}{12(1-\mu^2)h} \quad (3.45)$$

Donde:  $k$  = Coeficiente de pandeo, el cual depende de las relaciones  $N/h$  y  $a/h$  como se puede ver en la Fig.3.11 y 3.12, respectivamente.

$\mu$  = Relación de poisson.

$E$  = Módulo de elasticidad.

$t$  = Espesor del alma.

$h$  = Peralte de la porción plana del alma medida en el plano del alma.

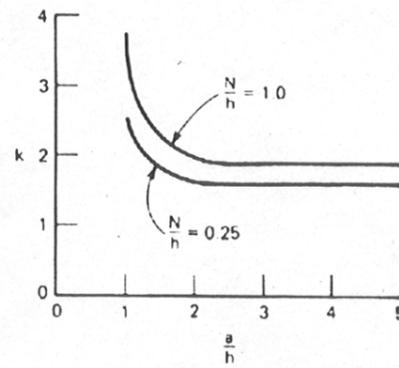
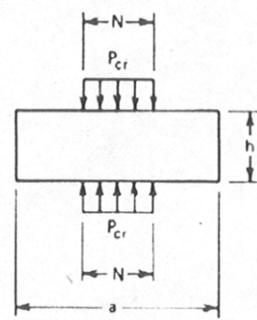


Fig.3.11 Coeficiente de pandeo  $k$  para una placa simplemente apoyada sujeta a dos cargas opuestas distribuidas locales.

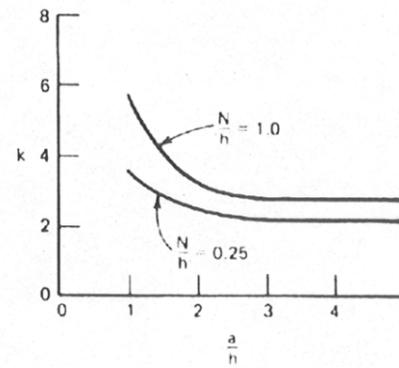
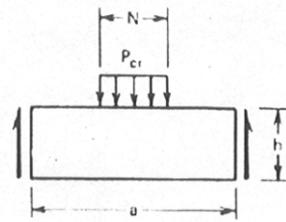


Fig.3.12 Coeficiente de pandeo  $k$  para una placa simplemente apoyada sujeta a una carga distribuida local.

Los factores que dificultan en el análisis teórico de aplastamiento del alma son los siguientes:

- 1) Presenta una distribución de esfuerzos no uniforme bajo carga y en los elementos adyacentes al alma.
- 2) Estabilidad elástica e inelástica del alma.
- 3) Presenta fluencia local en la zona de la aplicación de la carga.
- 4) Flexión debida a carga o reacción excéntrica, aplicada sobre el patín de carga.
- 5) Las deformaciones iniciales se presentan fuera del plano de los elementos de las placas individuales de la viga.
- 6) Hay algunas restricciones de bordes provistas por los patines de la viga y la interacción estos y en el alma.
- 7) Almas inclinadas para decks y paneles.

Debido a estas restricciones, las especificaciones están basadas en investigaciones experimentales. En estas investigaciones se definieron las siguientes condiciones de carga para vigas con almas sencillas no reforzadas y vigas I:

- 1) Carga de extremo en un patín (EUP).
- 2) Carga interior en un patín (IUP).
- 3) Carga de extremo en dos patines (EDP).
- 4) Carga interior en dos patines (IDP).

Para poder identificar y diferenciar entre los cuatro tipos de carga consultar la Fig.3.13.

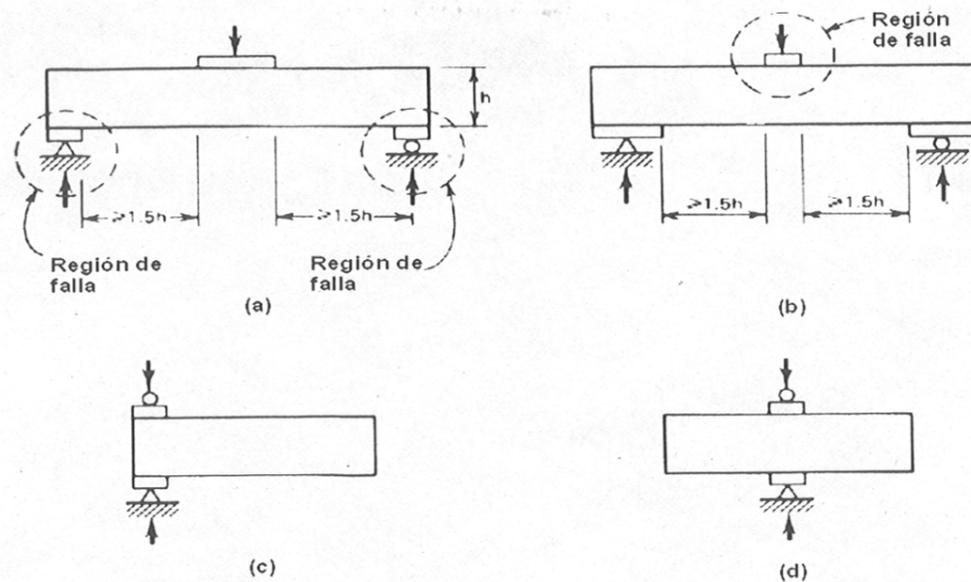


Fig.3.13 Condiciones de carga para pruebas de aplastamiento del alma. (a) Condiciones EUP; (b) Condiciones IUP; (c) Condiciones EDP; (d) Condiciones IDP.

### 3.2.5.1 Especificaciones Aplicables del AISI 1996 y 1999 para Calcular la Resistencia al Aplastamiento de Almas No Agujeradas.

Estas especificaciones aplican a almas o a miembros a flexión sujetos a cargas concentradas o reacciones, o a los componentes correspondientes, actuando perpendicular con respecto al eje longitudinal del miembro, y en el plano del alma bajo consideración, y causando esfuerzos de compresión en el alma.

Las siguientes expresiones representan las ecuaciones generales de diseño para aplastamiento del alma:

1. Método ASD: 
$$P_a = \frac{P_n}{\Omega_w} \geq \sum P_i$$

2. Método LRFD: 
$$\phi_w P_n \geq \sum \gamma_i P_i$$

Donde:  $P_a$  = Resistencia permisible para aplastamiento del alma.  
 $\Omega_w$  = Factor de seguridad para aplastamiento del alma.  
 $\sum P_i$  = Combinación aplicable debido a cargas de servicio.  
 $\phi_w$  = Factor de resistencia para aplastamiento del alma.  
 $\gamma_i$  = Factor de carga correspondiente a la carga.  
 $\sum \gamma_i P_i$  = Peralte de la porción plana del alma medida en el plano del alma.  
 $P_n$  = Resistencia nominal al aplastamiento del alma determinada según la tabla 3.2.

Para almas sencillas no reforzadas:

$$\Omega_w = 1.85 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_w = 0.75 \quad (\text{LRFD})$$

Para dos secciones Z empalmadas, cuando se evalúa la resistencia al aplastamiento del alma para carga interior en un patín (IUP):

$$\Omega_w = 1.80 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_w = 0.85 \quad (\text{LRFD})$$

Las almas o miembros a flexión donde  $h/t$  es mayor que 200 deberán ser provistas con medios adecuados para transmitir cargas concentradas y/o reacciones directamente al alma.

Las ecuaciones en la Tabla 3.2 aplican cuando  $h/t < 200$ ,  $N/t \leq 210$ ,  $N/h \leq 3.5$ ,  $R/t \leq 6$  para vigas y  $R/t \leq 7$  para decks. Para secciones Z con su patín atornillado al miembro de soporte externo de la sección, la Ec.(3.46) puede ser multiplicada por 1.3. Esto es válido para secciones que cumplen con las siguientes limitaciones:

1.  $h/t \leq 150$
2.  $R/t \leq 4$

3. Espesor base de la sección  $\geq 0.060$  plg. (1.52 mm).
4. Espesor del miembro de soporte  $\geq 3/16$  plg. (4.76 mm).

Tabla 3.2 Identificación de Ecuaciones para Determinar la Resistencia Nominal para Aplastamiento del Alma, bajo Cargas Concentradas o Reacciones.

		Perfiles con un alma		Secciones I o Secciones Similares
		Patines Atiesados o Parcialmente Atiesados.	Patines no atiesados	Patines Atiesados Parcialmente Atiesados y no Atiesados
Cargas Opuestas Separadas > 1.5h	Reacción Extrema	Ec.(3.46)	Ec.(3.47)	Ec.(3.48)
	Reacción Interior	Ec.(3.49)	Ec.(3.49)	Ec.(3.50)
Cargas Opuestas Separadas $\leq 1.5h$	Reacción Extrema	Ec.(3.51)	Ec.(3.51)	Ec.(3.52)
	Reacción Interior	Ec.(3.53)	Ec.(3.53)	Ec.(3.54)

Notas y referencias de ecuaciones de la Tabla 3.2:

- 1) Sección I formadas de dos secciones C conectados espalda con espalda o secciones similares que provee una restricción rotacional considerable al alma (como las sección I formadas soldando dos secciones angulares a una sección C).
- 2) En las ubicaciones de una carga concentrada o reacción actuando ya sea en el patín superior o inferior, cuando la distancia libre entre orillas del área de contacto de esta carga o reacción y las cargas concentradas o reacciones opuestas adyacentes es mayor que 1.5h.
- 3) Para reacciones de extremo de vigas o cargas concentradas en el extremo de voladizos cuando la distancia de la orilla del área de contacto de la carga al extremo de la viga es menor que 1.5h.
- 4) Para reacciones y cargas concentradas cuando la distancia de la orilla del área de contacto de la carga al extremo de la viga es igual o mayor que 1.5h.

- 5) En las ubicaciones de dos cargas concentradas opuestas o de carga concentrada y una reacción opuesta actúan simultáneamente en el patín superior e inferior, cuando la distancia entre sus áreas de contacto de carga adyacentes es igual o menor que 1.5h.

$$P_n = t^2 k C_1 C_4 C_9 C_\theta [331 - 0.61(h/t)] [1 + 0.01(N/t)] \quad (3.46)$$

$$P_n = t^2 k C_1 C_4 C_9 C_\theta [217 - 0.28(h/t)] [1 + 0.01(N/t)] \quad (3.47)$$

Para  $N/t > 60$ , el factor  $[1 + 0.01(N/t)]$  puede ser incrementado a  $[0.71 + 0.015(N/t)]$

$$P_n = t^2 F_y C_6 (10.0 + 1.25\sqrt{N/t}) \quad (3.48)$$

$$P_n = t^2 k C_1 C_2 C_9 C_\theta [538 - 0.74(h/t)] [1 + 0.007(N/t)] \quad (3.49)$$

Para  $N/t > 60$ , el factor  $[1 + 0.007(N/t)]$  puede ser incrementado a  $[0.75 + 0.011(N/t)]$

$$P_n = t^2 F_y C_5 [0.88 + 0.12m] [15.0 + 3.25\sqrt{N/t}] \quad (3.50)$$

$$P_n = t^2 k C_1 C_4 C_9 C_\theta [244 - 0.57(h/t)] [1 + 0.01(N/t)] \quad (3.51)$$

$$P_n = t^2 F_y C_8 [0.64 + 0.31m] [10.0 + 1.25\sqrt{N/t}] \quad (3.52)$$

$$P_n = t^2 k C_1 C_2 C_9 C_\theta [771 - 2.26(h/t)] [1 + 0.0013(N/t)] \quad (3.53)$$

$$P_n = t^2 F_y C_7 [0.82 + 0.15m] [15.0 + 3.25\sqrt{N/t}] \quad (3.54)$$

Donde:  $P_n$  = Resistencia nominal para la carga concentrada o reacción kips o Ton.

$$C_1 = 1.22 - 0.22k$$

$$C_2 = 1.06 - 0.06(R/t) \leq 1.0$$

$$C_4 = 1.15 - 0.15(R/t) \leq 1.0 \text{ pero no menor que } 0.50$$

$$C_5 = 1.49 - 0.53k \geq 0.6$$

- $C_6 = 1+(h/t)/750$  cuando  $h/t \leq 150$   
 $= 1.20$  cuando  $h/t > 150$
- $C_7 = 1/k$  cuando  $h/t \leq 66.5$   
 $= [ 1.10-(h/t)/665]/k$  cuando  $h/t > 66.5$
- $C_8 = [ 0.98-(h/t)/865]/k$
- $C_9 = 1.0$  para unidades de kip y plg.  
 $= 0.000704$  para unidades métricas de Ton. Y mm.
- $C_{\theta} = 0.70+0.30(\theta/90)^2$
- $F_y$  = Esfuerzo de fluencia de diseño del alma según las secciones A3.1 y A3.3.2, ksi o Kg/cm<sup>2</sup>.
- $h$  = Peralte de la porción central del alma medido en el plano del alma, mm o plg.
- $k = 894F_y/E$
- $t$  = espesor del alma, en mm. o plg.
- $m = t/0.075$ , cuando  $t$  esta en plg.  
 $= t/1.91$ , cuando  $t$  esta en mm.
- $N$  = Longitud de contacto de la carga o reacción en mm o plg. Para el caso de dos cargas concentradas y opuestas distribuidas sobre longitudes de contacto desiguales, el valor menor de ambos deberán usarse en el diseño.
- $R$  = Radio interior de doblez.
- $\theta$  = Angulo del plano del alma y el plano de la longitud de contacto,  $\geq 45^\circ$ , pero no mayor de  $90^\circ$ .

Las ecuaciones de diseño de la sección C3.4.1 consideran diferentes condiciones de carga. Como se muestra en la Fig. 3.14, las Ecs. (3.46) a (3.48) son usadas para las condiciones de carga EUP; las Ecs. (3.49) y (3.50) para las condiciones de carga IUP; las Ecs. (3.51) y (3.52) para las condiciones de carga EDP; y las Ecs. (3.53) y (3.54) para las condiciones de carga IDP.

En la Fig.3.15 se puede observar la distribución de cargas concentradas y reacciones de las cuatro condiciones de carga. Esta distribución de carga es independiente de la respuesta a flexión de la viga. A consecuencia de la flexión, las cargas o reacciones actúan en diferentes puntos de contacto con respecto al plano de contacto; esto trae como consecuencia que la distribución de carga sobre el alma no sea uniforme. El valor de  $P_n$  es afectado por el cambio de condición de carga de IUP (Fig.3.15b) a EUP (Fig.3.15a), estas condiciones representa la base experimental en la cual se han desarrollado las especificaciones de diseño.

A través del tiempo se han desarrollado una gran variedad de tipos de acero de alta resistencia. Algunos de estos tipos de acero no fueron considerados dentro del alcance de las investigaciones originales en las que se basaron las especificaciones del AISI. Por tal motivo se tuvieron que realizar de manera adicional, pruebas de aplastamiento del alma, para así depurar los criterios de diseño. En el AISI 1996 se integraron a las especificaciones los aceros A673 y A715, que son de alta resistencia y baja aleación (HSLA), los cuales poseen esfuerzos de fluencia mínimos de 4920 kg/cm<sup>2</sup> y 5622 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Como las especificaciones del AISI para aplastamiento del alma están fundamentadas sobre información experimental en aceros con  $F_y \leq 3865$  kg/cm<sup>2</sup>, las ecuaciones de diseño (3.46), (3.47) y (3.51) aplican únicamente si  $F_y \geq 4673$  kg/cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, para  $F_y \geq 4673$  kg/cm<sup>2</sup> el valor de  $KC_3$  que se asume es de 1.34.

Se ha descubierto que las secciones Z al ser atornilladas al miembro de soporte con dos tornillos de 2 pulgadas, incrementa su capacidad al aplastamiento del alma en el orden de un 27 a un 55% si cumplen con las limitaciones especificadas en el AISI de 1996. Para esta condición se permite un incremento del 30 % en la capacidad del aplastamiento del alma descrito en la sección C3.4.1.

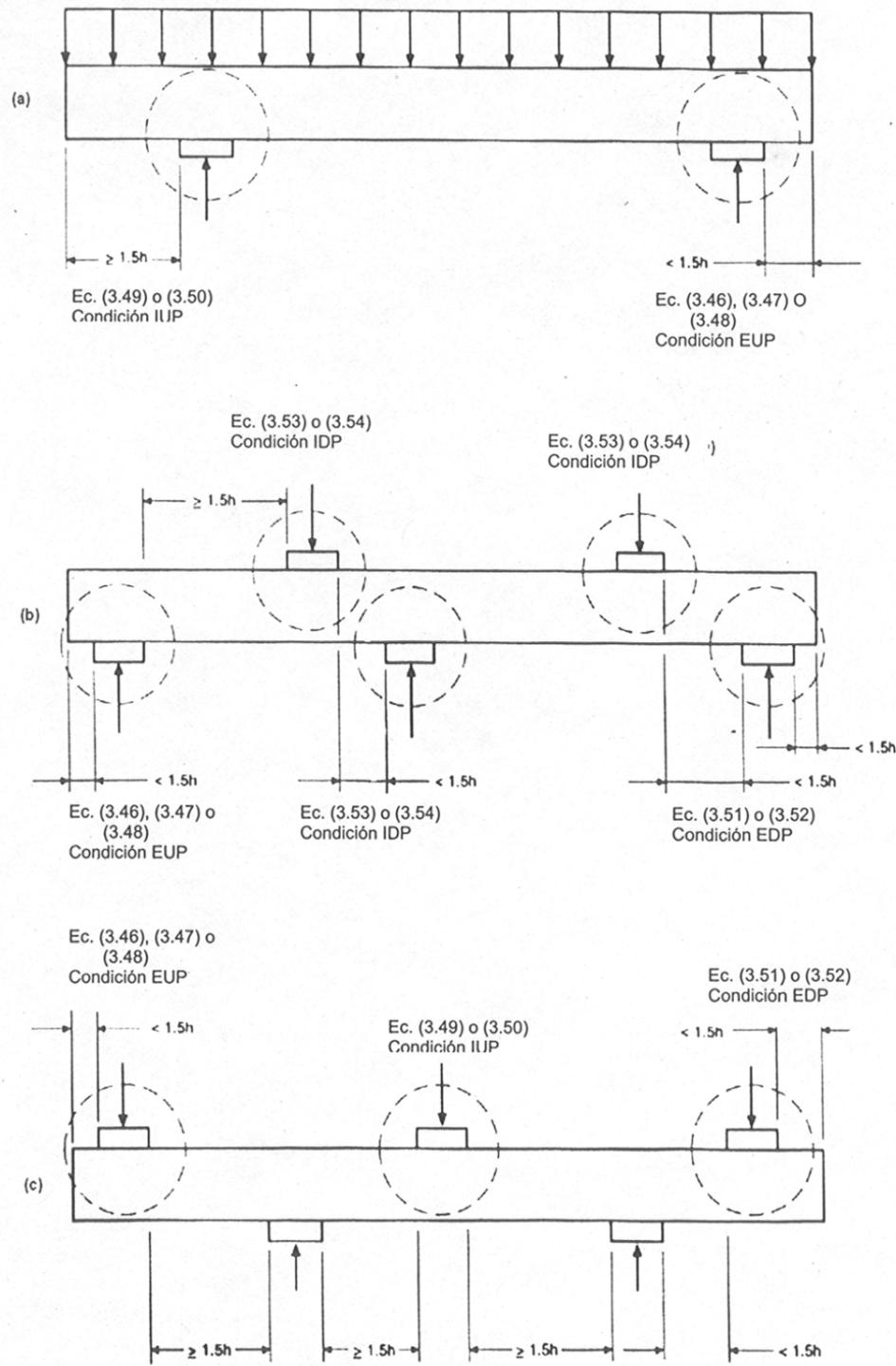


Fig.3.14 Aplicación de las formulas de diseño de la sección C3.4.1

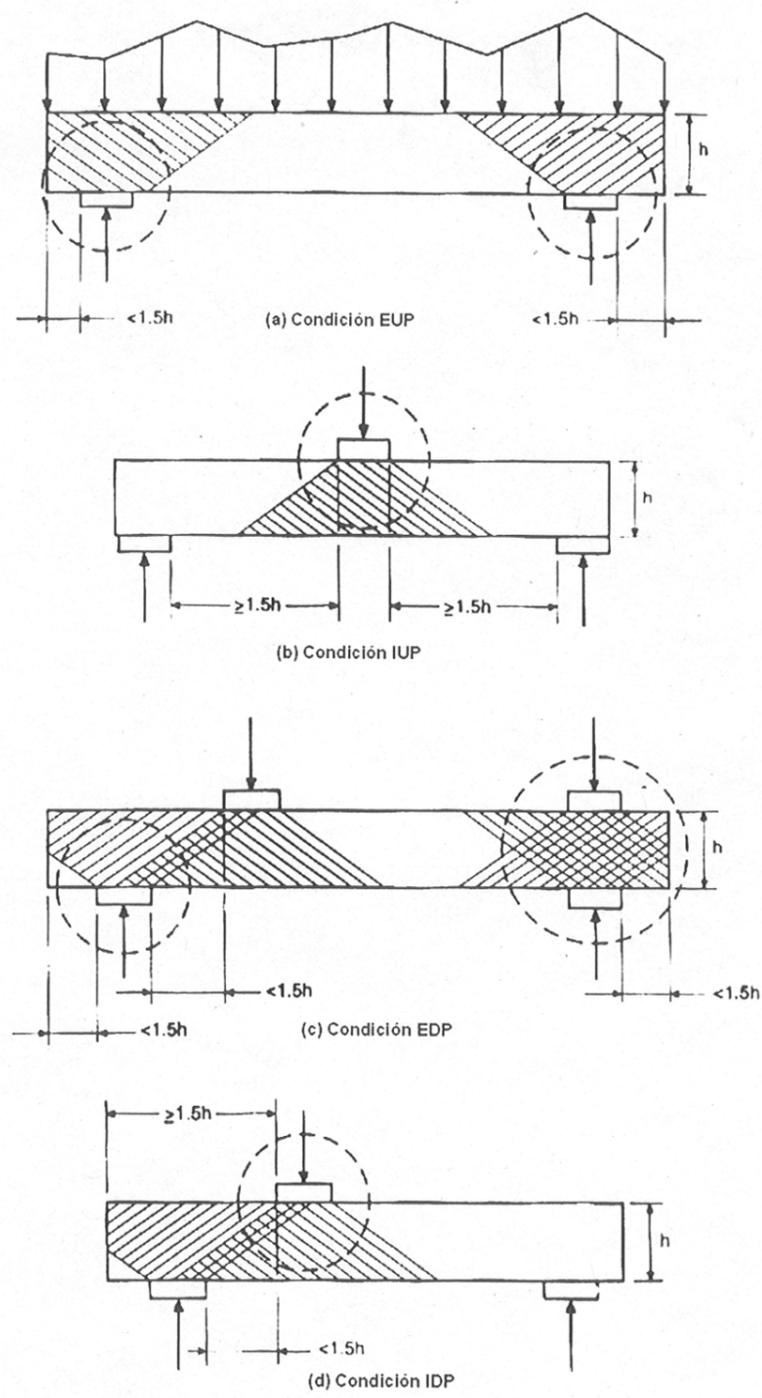


Fig.3.15 Distribución asumida de reacciones o cargas.

### 3.2.6 Combinación de Aplastamiento del Alma y Flexión.

En vigas continuas, las reacciones en los apoyos coinciden con momentos y/o cortantes considerables. Bajo estas condiciones la resistencia al aplastamiento del alma puede reducirse significativamente debido al efecto de los momentos flexionantes.

Basándose en los resultados de pruebas de especímenes bajo condición de aplastamiento del alma y flexión, se han desarrollado varias ecuaciones de interacción de diseño. Estas ecuaciones se incluyen en la sección C3.5 del AISI de 1996.

#### 3.2.6.1 Perfiles con Almas Simples No Reforzadas.

Para determinar el comportamiento de secciones con almas simples no reforzadas se realizaron pruebas de especímenes de sección canal y las siguientes conclusiones fueron establecidas:

1. Para especímenes con un alma no reforzada sujeta a combinación de flexión y aplastamiento del alma, la presencia de los momentos flexionantes reducirá significativamente la resistencia al aplastamiento del alma cuando la relación  $M_{pr}/M_n$  exceda a aproximadamente a 0.35. La Ec. (3.57) proporciona una buena correlación con los resultados de pruebas, como se muestra en la Fig.3.16. También se muestra en la Fig.3.16 la condición de aplastamiento del alma combinado con momento flexionantes pequeños.

$$\frac{1.07P_{pr}}{P_n} + \frac{M_{pr}}{M_n} = 1.42 \quad (3.57)$$

Donde:  $P_{pr}$  = Reacción o carga concentrada máxima en la presencia de momentos flexionantes.

$P_n$  = Reacción o carga concentrada máxima calculada en la ausencia de momentos flexionantes ( $P_n$  se obtiene de la Tabla 3.2; ver sección 3.2.4).

$M_{pr}$  = Momento flexionante coincidente con, o inmediatamente adyacente a, la carga concentrada o reacción.

$M_n$  = Momento flexionante calculado para flexión pura.

2. Cuando el cortante actuante  $V$  en la viga es menor o igual al 40% de la capacidad nominal de cortante de la viga  $V_n$ , la presencia de la fuerza de cortante no reduce significativamente la capacidad al aplastamiento del alma. Se espera que aun para vigas que exhiban esfuerzos considerables por cortante, la resistencia al aplastamiento del alma no sea reducida significativamente.

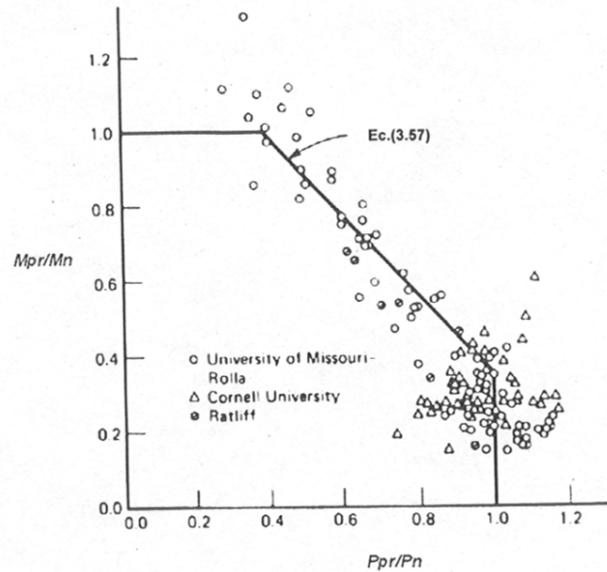


Fig.3.16 Representación gráfica para aplastamiento del alma (condición IUP) y aplastamiento y flexión combinada para especímenes con almas simples no reforzadas.

### 3.2.6.2 Especificaciones Aplicables del AISI 1996 y 1999 para Perfiles con Almas Sencillas No Reforzadas.

Las ecuaciones se clasifican según el método de diseño considerado. Las ecuaciones para los métodos ASD y LRFD se incluyen en las secciones C3.5.1(a) y C3.5.2(a), respectivamente. A continuación se presentan dichas ecuaciones:

Las almas planas no reforzadas sujetas a combinación de flexión y carga concentrada o reacción deberán ser diseñadas para cumplir los siguientes requisitos:

$$\text{Método ASD:} \quad 1.2 \left( \frac{\Omega_w P}{P_n} \right) + \left( \frac{\Omega_b M}{M_{nxo}} \right) \leq 1.5 \quad (3.58)$$

$$\text{Método LRFD:} \quad 1.07 \left( \frac{P_u}{\phi_w P_n} \right) + \left( \frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right) \leq 1.42 \quad (3.59)$$

Donde:  $\Omega_w$  = Factor de seguridad para aplastamiento del alma (ver Art. 3.2.4).

$\Omega_b$  = Factor de seguridad para flexión (ver Art. 3.2.1).

$\phi_w$  = Factor de resistencia para aplastamiento del alma (ver Art. 3.2.4.).

$\phi_b$  = Factor de resistencia para flexión (ver Art. 3.2.1).

$P, P_u$  = Resistencia requerida para la carga concentrada o reacción en la presencia de momento flexionante.

$P_n$  = Resistencia nominal para la carga concentrada o reacción en la ausencia de momento flexionante determinada de acuerdo a la sección C3.4 (ver Art. 3.2.4).

$M, M_u$  = Momento flexionante requerido en, o inmediatamente adyacente al punto de aplicación de la carga concentrada o reacción.

$M_{nxo}$  = Resistencia nominal a flexión con respecto al eje centroidal  $x$  determinado de acuerdo a la sección C3.1.1 (ver Art. 3.2.1).

La sección C3.5 establece la siguiente excepción para las Ecs. (3.58) y (3.59): En los apoyos interiores de claros continuos, las Ecs. (3.58) y (3.59) no son aplicables a decks o vigas con dos o más almas, siempre que las orillas de compresión de las almas adyacentes estén apoyadas lateralmente en la región de momento negativo por patines conectados en forma continua o intermitente, o por apoyos laterales independientes, y que el espaciamiento entre almas adyacente no exceda 10 pulgadas (254 mm). La Fig. 3.17 ilustra los casos en los que aplica la excepción. Dichas excepciones fueron incluidas en las especificaciones, ya que los resultados de pruebas de vigas y decks continuos han indicado que para este tipo de miembros el comportamiento al postpandeo de las almas en apoyos interiores difieren del tipo de modo de falla exhibido bajo cargas concentradas en vigas o decks de un claro. La resistencia al postpandeo permite al miembro a redistribuir los momentos en vigas o decks continuos. Por esta razón, las Ecs. (3.58) y (3.59) pueden dar resultados conservadores para la determinación de la capacidad de carga de claros continuos si se consideran criterios de diseño elástico.

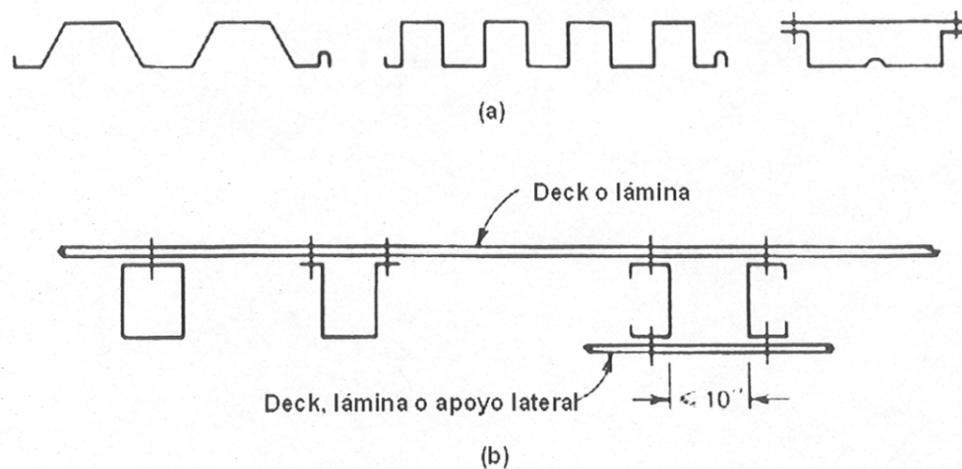


Fig. 3.17 Perfiles considerados en la cláusula de excepción del AISI. (a) Decks; (b) Vigas.

### 3.2.6.3 Perfiles Z con Almas Empalmadas.

Investigaciones efectuadas han demostrado que el comportamiento del alma bajo combinación de flexión y aplastamiento del alma es mejorado por la iteración entre las almas empalmadas. Las ecuaciones del AISI se desarrollaron basándose en esta información. Las ecuaciones para los métodos ASD y LRFD se incluyen en las secciones C3.5.1(c) y C3.5.2(c), respectivamente. A continuación se presentan dichas ecuaciones:

Para los puntos de apoyo de dos secciones Z empalmadas:

$$\text{Método ASD:} \quad \frac{M}{M_{no}} + \frac{P}{P_n} \leq \frac{1.67}{\Omega} \quad (3.60)$$

$$\text{Método LRFD:} \quad \frac{M_u}{M_{no}} + \frac{P_u}{P_n} \leq 1.68\phi \quad (3.61)$$

Donde:  $P, P_u$  = Resistencia requerida de la carga concentrada o reacción en la presencia de momento flexionante.

$P_n$  = Resistencia nominal de aplastamiento del alma asumiendo condiciones de carga IUP en un alma para secciones Z empalmadas, o sea, las sumas de las dos almas calculadas individualmente.

$M, M_u$  = Resistencia requerida a flexión de la sección bajo consideración

$M_{no}$  = Resistencia nominal a flexión de las secciones Z empalmadas, o sea, la suma de las dos secciones calculadas individualmente, determinadas de acuerdo a la sección C3.1.1 (ver Art. 3.2.1)

$\Omega$  = Factor de seguridad para combinación de flexión y aplastamiento del alma = 1.67

$\phi$  = 0.90

Las Ecs (3.60 y 3.61) son validas para perfiles que cumplen con las siguientes condiciones:

1.  $h/t \leq 150$ ;  $N/t \leq 140$ ;  $F_y \leq 4920 \text{ kg/cm}^2$ ;  $R/t \leq 5.5$ .
2. Los extremos de cada sección están conectados a través del alma a otra secciones con un mínimo de dos tornillos a A307 de  $\frac{1}{2}$  pulgada (12.7 mm) de diámetro.
3. Las sección empalmada deberá estar conectada al apoyo a través de los patines con un mínimo de dos tornillos a A307 de  $\frac{1}{2}$  pulgada (12.7 mm) de diámetro.
4. Las almas de las dos secciones están en contacto.
5. La relación del espesor mayor al menor de las partes no excede a 1.3.

### 3.2.7 Vigas o Polines con Patines Unidos a Lamina de Cubierta o Muro.

La acción del viento sobre las estructuras ocasiona presiones negativas principalmente en cubierta y muros. Tales presiones generan fuerzas de succión que tienden a desprender las láminas y polines de cubierta y muros. Para evitar esta acción del viento, las cubiertas y muros se deben sujetar por medio de tornillos, pijas o clips como se ilustra en la Fig. 3.18.

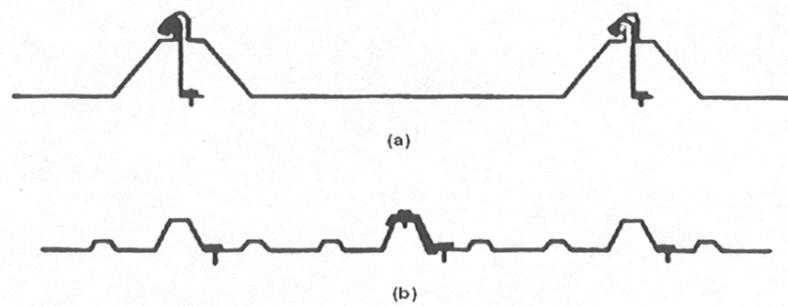


Fig. 3.18 Sistema de sujeción de láminas a polines. (a) Sujeción de lámina de cubierta por medio de clips; (b) Sujeción de lámina de cubierta por medio de tornillos.

En cubiertas con condiciones normales de servicio, las fuerzas de succión se contrarrestan generalmente con las cargas gravitacionales, pero pueden presentarse condiciones climáticas severas, como los vientos huracanados, donde ocurre lo contrario. Bajo estas condiciones se invierte el sentido de los momentos flexionantes y el patín del polín unida a la lámina de cubierta será el patín de tensión. Por lo tanto, el patín de compresión del polín tendrá generalmente apoyos laterales solo en los extremos del claro, pero el patín de tensión estará fijo a la lámina de cubierta. En muros las condiciones son diferentes, ya que la carga gravitacional actúa en forma perpendicular a las fuerzas de succión, por lo que nunca se logra contrarrestar tales fuerzas. La capacidad a flexión de este tipo de miembros es menor que la de los miembros con apoyo lateral adecuado, pero mayor a los miembros sin apoyo lateral, gracias a la restricción rotacional brindada por la conexión del polín a la lámina. En la Fig 3.19 se observa un sistema típico de apoyo lateral.

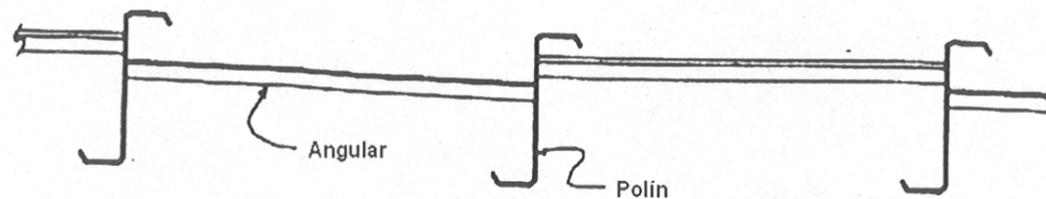


Fig. 3.19 Sistemas de apoyos laterales en puntos aislados en el claro de polines de cubierta a base de perfiles angulares.

Para las vigas bajo cargas gravitacionales, el patín unido a las laminas será el patín de compresión en las regiones del claro donde existan momento positivo. Si la lámina se encuentra unida mediante tornillos, pijas y/o soldadura se puede considerar para efectos de diseño que la lámina brinda apoyo lateral adecuado al patín de compresión en dicha región. En las regiones del claro donde se presenten momentos negativos, el patín unido a la lámina será el patín de tensión. En este caso, para efectos de diseño se puede considerar que existe apoyo lateral adecuado al patín de compresión en la región del claro comprendida entre el apoyo inferior y el



final del traslape de perfil. La región del claro comprendida entre el final del traslape y el punto de inflexión se considera un voladizo con extremo libre sin apoyo lateral.

Las especificaciones de la sección C3.1.3 se aplican a vigas cuyo patín de tensión esta unida a lamina y el patín de compresión esta totalmente libre de apoyos laterales entre sus claros. Las vigas con apoyos laterales al patín de compresión en puntos aislados dentro del claro pueden tener una capacidad de a flexión mayor que las vigas sin apoyos laterales.

### 3.2.7.1 Especificaciones del AISI 1996 para Vigas con un Patín Conectadas a Lámina de Cubierta o Muro.

La resistencia normal a flexión,  $M_n$ , de sección canal y Z cargadas en el plano del alma, con el patín da tensión conectado a una lámina de cubierta o muro y con el patín de compresión sin apoyo lateral, se determinará mediante la ecuación siguiente:

$$M_n = RS_e F_y \quad (3.62)$$

$$\Omega_b = 1.67 \quad (\text{ASD})$$

$$\phi_b = 0.90 \quad (\text{LRFD})$$

Donde: R = 0.60 para secciones C continuas

= 0.70 para secciones Z continuas.

$S_e$  y  $F_y$  están definidos en la sección C3.1.1.

El uso del factor de reducción R deberá ser limitado a sistemas de cubierta y muro que cumplan con la condiciones siguientes:

1. El peralte del miembro es menor a 11.5 pulgadas (292 mm).
2. Los patines son elementos a compresión con bordes atiesados.
3. La relación peralte espesor  $d/t$  deberá estar dentro del rango  $60 \leq d/t \leq 170$
4. La relación peralte ancho del patín  $d/w$  deberá estar dentro del rango  $2.8 \leq d/w \leq 4.5$
5. La relación del ancho plano al espesor del patín  $w/t$  deberá estar dentro del rango  $16 \leq w/t \leq 43$
6. Para sistemas de claros continuos, la longitud de traslape en ambos lados de cada apoyo interior (la distancia desde el centro del apoyo a la orilla del traslape) no deberá ser menor que  $1.5d$ .
7. Claros de miembros no deberán ser mayores que 33 pies (10 metros).
8. Para sistemas con claros continuos, el claro mayor deberá ser 20% mayor que el claro más corto.
9. Ambos patines deberán estar impedidos contra el desplazamiento lateral en sus apoyos.
10. Las láminas de cubierta o muro deberán ser de acero, con espesor mínimo (incluyendo recubrimiento) de 0.018 pulgadas (0.46 mm), con peralte mínimo de costilla de 1.25 pulgadas (32 mm) y espaciadas a un máximo de 12 pulgadas (305 mm) a centros y unida de tal manera que efectivamente inhiba el movimiento relativo entre la lámina y el patín del polín.
11. El aislamiento térmico deberá ser colchoneta de fibra de vidrio de 0 a 6 pulgadas (152 mm) de espesor comprimido entre el polín y la lámina de una manera consistente con el tipo de sujetador usado.
12. Tipo de sujetador: deberán ser tornillos con dimensión mínima de No. 12, autotaladrables y autosellables o remaches de 3/16 pulgadas de diámetro, con rondanas de 1/2 pulgadas (12.7 mm).
13. Los sujetadores no deberán ser del tipo que sobresalen con respecto a la superficie de la lámina.

14. Los sujetadores deberán estar espaciados a distancias no mayores a 12 pulgadas (305 mm) a centros y deberán ser colocados en los valles de la lámina, cerca del centro del patín de la viga.

15. La resistencia por fluencia de diseño del miembro no deberá exceder a 60 ksi (4216 kg/cm<sup>2</sup>).

Si algunas de las condiciones antes mencionadas no cumplen la sección C3.1.3 específica que se deberán de desarrollar pruebas de carga de acuerdo a la sección F1 del AISI 1996, o aplicar un procedimiento analítico racional.

Para secciones C y Z con claros simples el valor del factor de reducción R se calcula mediante la tabla siguiente:

Tabla 3.3 Valores de R para Secciones C y Z con Claros Simples

Rango de Peraltes, plg (mm)	Perfil	R
$D \leq 6.5$ (165)	C o Z	0.70
$6.5$ (165) $< d \leq 8.5$ (216)	C o Z	0.65
$8.5$ (216) $< d \leq 11.5$ (292)	Z	0.50
$8.5$ (216) $< d \leq 11.5$ (292)	C	0.40

Para miembros con claros simples, el valor de R deberá ser reducido para considerar el efecto del aislamiento comprimido entre la lámina y el miembro. La reducción deberá ser calculada multiplicando el valor de R de la tabla 3.3 por el factor de corrección:

$$r = 1.00 - 0.01t_1 \quad \text{cuando } t_1 \text{ esta dado en pulgadas}$$

$$r = 1.00 - 0.0004t_1 \quad \text{cuando } t_1 \text{ esta dado en centímetros}$$

$t_1$  = al espesor de la colchoneta de fibra de vidrio no comprimida

### 3.2.8. Requisitos de Apoyos Laterales en Vigas.

#### 3.2.8.1 Patín Superior Conectado a Lámina de Cubierta, Deck o Muro.

Cuando las vigas Z son usadas en sistemas de cubierta, piso o muro para soportar directamente la lámina, utilizando para su fijación tornillos o pijas se puede considerar como secciones con apoyo lateral continuo en las regiones de momento gravitacional positivo. Por lo tanto, tales secciones no presentan pandeo lateral y la resistencia a flexión se calcula de acuerdo a la sección C3.1.1. La sección D3.2.1 del AISI 1996 establece que la lámina deberá restringir los patines de tal manera que la deformación máxima lateral del patín superior con respecto a los puntos de aplicación de las reacciones (apoyos extremos) no exceda al claro dividido entre 360.

En sistemas de cubierta con 4 a 20 líneas de polines con todos los patines superiores orientados en dirección pendiente arriba de la cubierta, con puntos de restricción en los apoyos extremos, a la mitad del claro o a tercios del claro, cada miembro que funja como restricción o anclaje deberá ser diseñado para resistir una fuerza determinada de la siguiente manera:

1. Para sistemas de un claro con un punto de restricción en los extremos:

$$P_L = 0.50 \left[ \frac{0.220b^{1.50}}{n_p^{0.72} d^{0.90} t^{0.60}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.63)$$

2. Para sistemas de un claro con puntos de restricción a tercios del claro:

$$P_L = 0.50 \left[ \frac{0.474b^{1.22}}{n_p^{0.57} d^{0.89} t^{0.33}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.64)$$

3. Para sistemas de un claro con puntos de restricción a la mitad del claro:

$$P_L = \left[ \frac{0.224b^{1.32}}{n_p^{0.65} d^{0.83} t^{0.50}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.65)$$

4. Para sistemas de claros múltiples con puntos de restricción en los apoyos:

$$P_L = C_{tr} \left[ \frac{0.053b^{1.88} L^{0.13}}{n_p^{0.95} d^{1.07} t^{0.94}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.66)$$

Con:  $C_{tr} = 0.63$  para anclaje en los apoyos extremos de los claros.

$C_{tr} = 0.87$  para anclaje en el primer apoyo interno.

$C_{tr} = 0.81$  para todos los otros casos.

5. Para sistemas de claros múltiples con puntos de restricción a tercios del claro:

$$P_L = C_{th} \left[ \frac{0.181b^{1.15} L^{0.25}}{n_p^{0.54} d^{1.11} t^{0.29}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.67)$$

Con:  $C_{th} = 0.57$  para anclaje en claros extremos.

$C_{th} = 0.48$  para todos los otros casos.

6. Para sistemas de claros múltiples con puntos de restricción múltiples:

$$P_L = C_{ms} \left[ \frac{0.116b^{1.32} L^{0.18}}{n_p^{0.70} d^{1.00} t^{0.50}} \cos\theta - \text{sen}\theta \right] W \quad (3.68)$$

con  $C_{ms} = 1.05$  para anclaje en claros extremos.

$C_{ms} = 0.90$  para todos los otros apoyos laterales.

Donde  $b$  = ancho del patín  
 $d$  = peralte de la sección  
 $t$  = espesor  
 $L$  = longitud del claro  
 $e$  = ángulo con respecto a la vertical del plano del alma de la viga Z, en grados.  
 $n_p$  = número de líneas de polines.  
 $W$  = carga vertical total soportada por la línea de polines entre apoyos adyacentes (usar cargas de servicio para ASD y cargas factorizadas para LRFD).

La carga  $P_L$  es positiva cuando el anclaje es requerido para prevenir movimiento de los patines de los polines en dirección pendiente arriba de la cubierta.

La carga  $P_L$  debe ser descargada en los extremos de los miembros usados como apoyo lateral. Normalmente los miembros se alinean para acumular la carga y transmitirla a los extremos de la cubierta mediante un anclaje (ver Fig. 3.20). Esto requiere que la cubierta tenga la misma pendiente, la misma carga, y la misma dimensión a cada lado de la cumbrera. Para cubiertas con una sola pendiente, donde el balanceo de cargas no puede hacerse en la cumbrera, las cargas deberán de ser transmitidas a un sistema estructural independiente (marcos o armaduras principales, sistemas de arriostramiento vertical, muros de cortante, etc.). Para transmitir dichas cargas a estos sistemas se pueden usar armaduras en el plano de la cubierta.

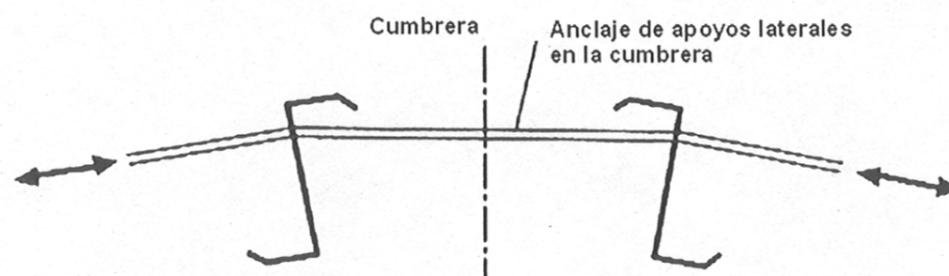


Figura 3.20 Detalle de anclaje de apoyos laterales en cumbrera.

La capacidad de la lámina para restringir la rotación de las vigas depende de la resistencia a flexión y la rigidez de la lámina misma. Por lo que no se generan cargas adicionales en el sistema de cubierta. Las fuerzas generadas por la restricción de la deformación lateral son transmitidas a la cubierta y a los apoyos laterales. El diafragma de cubierta y los miembros que funcionan como apoyos laterales acumulan dichas fuerzas a través de toda la cubierta, y deben ser anclados de lo contrario, todo el sistema de cubierta se desplazará lateralmente. El anclaje del diafragma puede realizarse mediante el anclaje a una línea de polines en cada bahía de polines a un sistema estructural independiente. Otra solución del anclaje del diafragma consiste en la colocación de un clip antirotatorio en el polín del alero (orilla longitudinal) de la cubierta (ver Fig. 3.21). Esta solución es simple y puede usarse en cubiertas con una sola agua o para cubiertas con dos aguas con cargas y/o pendientes diferentes a ambos lados de la cumbrera.

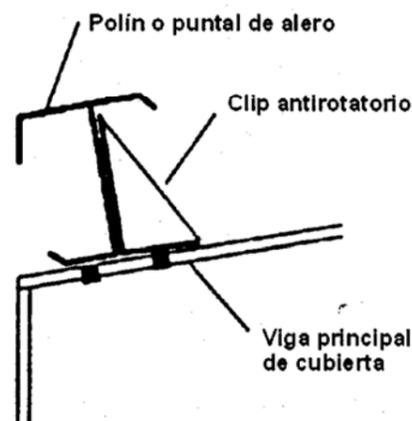


Figura 3.21 Uso de clip antirotatorio como anclaje de cubierta.

Para sistemas con menos de cuatro líneas de polines, la fuerza en el anclaje puede determinarse multiplicando por 1.1 a la carga calculada a partir de las Ecs. (3.63) a (3.68), con  $n_p = 4$ . Para sistemas con más de 20 líneas de polines, la fuerza en el anclaje puede calcularse a partir de las Ecs. (3.63) a (3.68) con  $n_p = 20$ . Cabe mencionar que el Suplemento 1999 incorporó por primera vez el término "cos  $\theta$ " en las Ecs. (3.63) a (3.68), ya que el AISI 1996 omitió dicho término debido a que en las

investigaciones usadas para desarrollar dichas ecuaciones se asumió que la cubierta no tenía pendiente y que la carga aplicada era paralela al alma de los polines. Cuando el término "cos  $\theta$ " multiplica a la carga vertical total W se obtiene la componente de la carga paralela al alma de los polines. Las recomendaciones emitidas en el Art. 5.4.1.2 para la transmisión de las fuerzas de anclaje de diafragmas en sistemas de cubierta basándose en secciones canal aplican también a secciones Z. También aplican para secciones Z las especificaciones de la sección D3.2.1 referente a la capacidad de la lámina para restringir a los patines de tal manera que la deformación máxima lateral del patín superior con respecto a los puntos de aplicación de las reacciones no exceda al claro dividido entre 360.

### 3.2.9 Ejemplos de Diseño.

A continuación se realizarán ejemplos de diseño por los métodos ASD y LRFD, los cuales consideran Polines Z que se diseñaran y se revisaran por flexión pura, cortante puro, combinación de flexión y cortante, aplastamiento del alma, combinación de aplastamiento y flexión; también se realizaran revisiones por la condición de succión por viento y se revisara la fuerza de anclaje:

**Ejemplo 3.1.** Diseño por el Método LRFD un polín de sección Z a ser usado en una cubierta con pendiente del 6% para las condiciones de apoyo y carga mostradas en la Fig. 3.22. Se requiere además considerar el diseño por viento y determinar las fuerzas de anclaje en apoyos laterales. Considere apoyos laterales en los extremos de cada claro y que las fuerzas acumuladas en dichos apoyos se transmiten (anclaje) a la estructura principal a cada quinto polín. Considere  $F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$ .

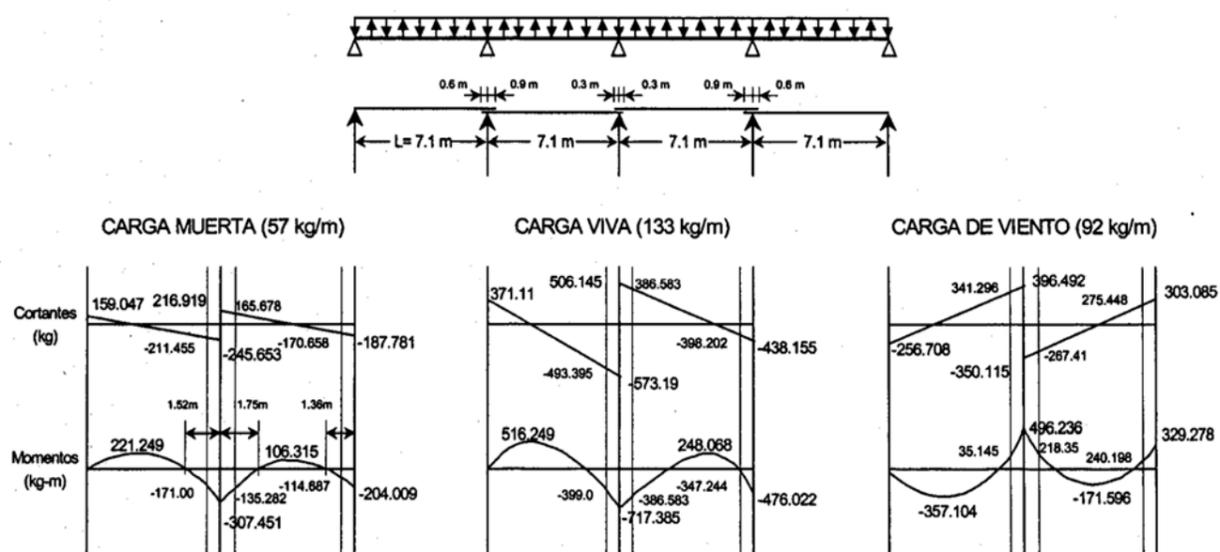


Figura 3.22 Ejemplo 3.1

## 1. Definición de los Criterios de Diseño

Asuma las siguientes condiciones de análisis y diseño:

- a) Condición de continuidad de cuatro claros. Se consideran traslapes en los apoyos interiores para generar las condiciones de continuidad requeridas. Los traslapes de las secciones Z se realizan empalmando las secciones. Las longitudes de traslape se indican en la Fig. 3.22.
- b) Las cargas nominales muertas, vivas y de viento se indican en la Fig. 3.22. Los diagramas de cortante y momento flexionante correspondientes a dichas cargas se ilustran en misma figura. Para el diseño del polín se consideran solo los primeros dos claros, ya que la simetría geométrica y de carga permiten establecer también simetría en el diagrama de momentos; es decir, los diagramas son simétricos con respecto al apoyo interior central.
- c) La pendiente de la cubierta del 6% representa un ángulo de inclinación de la cubierta de  $\theta = \tan^{-1}(6/100) = 3.434^\circ$ . La componente de la carga vertical total,  $W$ , paralela a la dirección de la cubierta es  $W \sin \theta = W \sin 3.434^\circ = 0.06W$ . Se asume que dicha carga genera un momento flexionante despreciable con respecto al eje  $y$ , por lo que se considera que no existe flexión biaxial y se diseñará la sección solo para el momento flexionante con respecto al eje  $x$ . La carga que genera dicho momento es la carga perpendicular a la cubierta, dada por  $W \cos 3.434^\circ = 0.94W \approx W$ .
- d) Se asumen condiciones no prismáticas para el diseño de los polines. Es decir, dependiendo de los valores de los momentos máximos en claros extremos e interiores, se podrá cambiar el perfil a uno de menor espesor en las regiones de menor momento. Así mismo, en los traslapes, el valor del momento de inercia con respecto al eje  $x$  es la suma de las inercias de los perfiles individuales, mientras que fuera de los traslape es el de un perfil. Estas consideraciones permiten optimizar el diseño de la polinería.

e) La cubierta se une con el patín superior del polín por medio de tornillería adecuada de tal manera que garantice la continuidad en apoyo lateral y torsional al patín superior.

f) Para cargas gravitacionales, el patín de compresión (patín inferior en las regiones de momento negativo) se considera con apoyo lateral adecuado en la región comprendida desde los apoyos interiores hasta el final del traslape. La región de momento negativo comprendida desde el final del traslape hasta el punto de inflexión se diseñará como una viga en voladizo con apoyo lateral en el extremo empotrado solamente (o sea, al final del traslape). En las regiones de momento positivo, se considera que el patín de compresión (patín superior) tiene apoyo lateral continuo proporcionado por la cubierta. Las especificaciones del AISI no imponen el método de análisis a ser usado y deja bajo responsabilidad del diseñador los criterios a usar.

## 2. Diseño por Flexión Pura

- **Definición de los Momentos Requeridos,  $M_u$ .**

Se debe identificar primero las combinaciones de carga que controlan el diseño. Las combinaciones de carga que deben ser consideradas se especifican en la Sección A5.1.2 del AISI 1996 (ver Art.3.1 punto 22). Se debe considerar la combinación que controle el diseño por cargas gravitacionales y por viento. Por inspección, las siguientes combinaciones de carga serán las que controlen:

a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R_r) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$

b) Para diseño por viento:  $1.2D - 1.3W \text{ o } + 1.5E$

(todos los términos están definidos en Art. 3.1, punto 22).

Para el diseño por cargas gravitacionales de la cubierta se asume que  $W = 0$ , ya que el viento en este caso actúa en sentido contrario a las cargas  $D$  y  $L_r$ . Además,  $L = 0$ , ya que estas cargas no se aplican en cubiertas. Se asume además que  $L_r$  es mayor que  $S$  y  $R_r$ . Por consiguiente, la combinación se reduce a  $1.2D + 1.6L_r$ . Para el

diseño por cargas de viento la combinación se reduce a  $1.2D - 1.3W$ , ya que  $E = 0$  debido a que la carga sísmica se considera despreciable en cubiertas metálicas ligeras comparada con la magnitud de la carga de viento. Debido a que las combinaciones de carga son igualmente válidas para combinaciones de "efectos de carga" y los momentos flexionantes son directamente proporcionales a las cargas, las combinaciones de momentos flexionantes serán:

- a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $M_u = 1.2M_D + 1.6M_{Lr}$   
 b) Para diseño por cargas de viento:  $M_u = 1.2M_D - 1.3M_W$

Los valores nominales de  $M_D$ ,  $M_{Lr}$  y  $M_W$  se encuentran en los diagramas de momento dados en la Fig. 3.22. A continuación se presentan los cálculos de  $M_u$ :

1.-Momentos ( $M_u$ ) debido a diseño por cargas gravitacionales.

Claro extremo:

$M(+)$ máximo:	$M_u = 109.150$ Ton-cm
$M(-)$ al final del traslape derecho:	$M_u = 84.360$ Ton-cm
$M(-)$ bajo el apoyo interior:	$M_u = 151.676$ Ton-cm

Claro interior:

$M(-)$ al final del traslape izquierdo:	$M_u = 78.087$ Ton-cm
$M(+)$ máximo:	$M_u = 45.007$ Ton-cm
$M(-)$ al final del traslape derecho:	$M_u = 69.321$ Ton-cm
$M(-)$ bajo el apoyo interior:	$M_u = 100.645$ Ton-cm

2.-Momentos ( $M_u$ ) para diseño por viento.

Claro extremo:

M cerca del centro del claro:	$M_u = -17.630$
-------------------------------	-----------------

Claro interior:

M cerca del centro del claro:	$M_u = -10.669$
-------------------------------	-----------------

Los momentos  $M_u$  negativos indican que la carga de viento factorizada contrarresta a la carga muerta factorizada, por lo que se invierte el sentido del momento, convirtiendo al patín superior en el patín de tensión. Debido a que la resistencia a flexión se ve afectada por este hecho, se deberá revisar la resistencia de la sección según lo indicado en el Art. 3.2.7.1.

- **Selección de Perfiles Iniciales en Función de su Resistencia a Flexión.**

Se propone seleccionar el perfil basándose en su resistencia a flexión y revisar el perfil seleccionado para las otras resistencias pertinentes y para la condición de carga por viento. La selección del perfil inicial se realizará basándose en los momentos máximos que ocurren en la región central del claro, ya que en dicha región la sección Z simple deberá resistir el momento. Como el momento máximo gravitacional excede al de viento, el gravitacional controla. Cabe mencionar que el momento negativo máximo (bajo el apoyo interior) excede al máximo positivo (en la región central), pero bajo el apoyo existirá un incremento en la resistencia a la flexión que la sección Z simple, debido a que en este lugar la sección se duplica debido al empalme.

Asuma que la resistencia de la sección se basa en el Inicio de Fluencia (ver Art. 3.2.1.1), por lo que la resistencia nominal  $M_n$  estará dada por la Ec. (3.11):  $M_n = S_e F_y$ . Para que la sección seleccionada sea aceptable se requiere que cumpla con la Ec. (3.15):  $\phi_b M_n \geq \sum \gamma_i M_i = M_u$ . Por lo tanto, si  $\phi_b M_n = M_u$  es la condición mínima aceptable, entonces  $M_n = M_u / \phi_b$ . Sustituyendo éstas expresiones en la Ec. (3.11) y despejando para  $S_e$  se obtiene:

$$(S_e)_{\min} = M_u / (\phi_b F_y) \quad (3.69)$$

La Ecs. (3.69) puede considerarse como la ecuación básica para la selección inicial del perfil basándose en el Método LRFD. Asumiendo que se seleccionará una sección Z con labios atiesadores, (ver Art. 3.2.1.1) requiere que  $\phi_b = 0.95$ , Por lo tanto:

Ec. (3.69):  $(S_e)_{\min} = 109.150 \times 10^3 / [(0.95)(3514)] = 32.696 \text{ cm}^3$  para claros extremos  
 $(S_e)_{\min} = 45.007 \times 10^3 / [(0.95)(3514)] = 13.482 \text{ cm}^3$  para claros interiores

Se recomienda seleccionar una sección Z con labios atiesadores con  $S_e = 32.696 \text{ cm}^3$  en claros extremos y  $S_e = 13.482 \text{ cm}^3$  en claros internos. Es recomendable hacer una selección inicial conservadora y posteriormente optimizar el diseño. Se recurrirá al ANEXO II, Tabla 1, "Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte, Perfiles de PROLAMSA" de la Disertación de Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte. Se seleccionaron los siguientes perfiles:

8EP14-8x2 3/4;  $S_e = 37.273 \text{ cm}^3$

8EP16-8x2 3/4;  $S_e = 29.783 \text{ cm}^3$

El perfil 8EP12-8x2 3/4 tiene un valor mayor al valor mínimo para claros extremos y se propone para dichos claros. En los claros interiores se propone el perfil 8EP16-8x2 3/4. Se observa en primera instancia que dicho perfil está muy sobrado, ya que provee un valor de  $S_e$  que excede en más del 100% al valor requerido en claros interiores. Sin embargo, el 8EP16-8x2 3/4 es el perfil de menor espesor que ofrece el Manual de Prolamsa para un peralte de 8 plg.

Del ANEXO I de la Tabla 1 "Propiedades Geométricas No Reducidas para Secciones Z con Labios Atiesadores" se obtuvieron las siguientes propiedades geométricas relevantes:

**Perfil 8EP14-8x2 3/4:**

$t = 0.190 \text{ cm}$	$S_f = 42.199 \text{ cm}^3$	$D = 203.000 \text{ mm}$
$R = 0.396 \text{ cm}$	$I_x = 428.319 \text{ cm}^4$	$I_y = 65.476 \text{ cm}^4$

**Perfil 8EP16-8x2 3/4:**

$t = 0.152 \text{ cm}$	$S_f = 34.116 \text{ cm}^3$	$D = 203.000 \text{ mm}$
$R = 0.396 \text{ cm}$	$I_x = 346.282 \text{ cm}^4$	$I_y = 53.530 \text{ cm}^4$

#### **A. Claro Extremo:**

##### **- Región de Momento Positivo Máximo:**

Perfil considerado: 8EP14.

En esta región se asume que la cubierta provee apoyo lateral continuo al patín de compresión. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia, [ver Art. 3.2.1.2, Ec. (3.11)].

$$\text{Ec. (3.11): } M_n = 37.273(3514) = 130977.322 \text{ kg-cm} = 130.977 \text{ Ton-cm}$$

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.95) 130.977 = 124.428 \text{ Ton-cm} > M = 109.150 \text{ Ton-cm, OK}$$

##### **- Región de Momento Negativo Comprendida entre el Final del Traslape y el Punto de Inflexión:**

Perfil considerado: 8EP14

En esta región se asume que el polín es una viga en voladizo con el extremo libre sin apoyo lateral. Por consiguiente, el pandeo latero-torsional deberá ser investigado y la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento dado en el ver Art. 3.2.2.3.

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.22),  $L_i = 152.00 \text{ cm}$

Longitud del traslape derecho con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.22),  $L_{tr} = 60.000 \text{ cm}$

Distancia sin apoyo lateral,  $L = L_i - L_{tr} = 150.00 - 60.00 = 90.00 \text{ cm}$

Para vigas en voladizo con extremo libre sin apoyo lateral,  $C_b = 1.0$

Para vigas con simetría con respecto a un punto y flexionadas con respecto a al eje perpendicular al eje de simetría usar la Ec. (3.28) para determinar  $F_e$ .

$$I_{yc} = I_y/2 = 65.476 / 2 = 32.738 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ec. (3.28): } F_e = \pi^2(2.073 \times 10^6)(1.0)(20.30)(32.738) / [2(42.199)(90.00)^2] = 19034.41 \text{ kg/cm}^2$$

$F_e > 2.78F_y = 2.78(3514) = 9663.50 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto aplica la Ec. (3.23).

$$\text{Ec. (3.23): } F_c = F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_c = S_e = 35.970 \text{ cm}^3 \text{ si } F_c = F_y.$$

Aplicando la Ec. (3.22) se obtiene:

$$\text{Ec. (3.22): } M_n = 34.116(3514) = 130977.322 \text{ kg-cm} = 130.977 \text{ Ton-cm}$$

En este caso, las Ecs. (3.11) y (3.23) producen el mismo valor de  $M_n$ , ya que la resistencia de la sección controla sobre la resistencia al pandeo latero-torsional cuando  $F_e > 2.78F_y$ . El Art. 3.2.2.3 especifica un valor de  $\phi_b = 0.90$ . Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.90) 130.977 = 117.879 \text{ Ton-cm} > M_u = 84.360 \text{ Ton-cm, OK}$$

**- Región de Momento Negativo Comprendida desde el Final del Traslape hasta el Apoyo Interior.**

Perfiles considerados: 8EP14 y 8EP16 traslapados.

En esta región se asume que existe apoyo lateral adecuado. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art. 3.2.1.2, sumando las resistencias de los polines traslapados.

$$\text{Resistencia del polín 8EP16: Ec. (3.11): } M_n = 29.783(3514) = 104.657 \text{ Ton-cm}$$

Resistencia total de los dos polines:  $M_n = 130.977 + 104.657 = 235.634 \text{ Ton-cm}$ . Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.95) 235.634 = 223.852 \text{ Ton-cm} > M = 151.676 \text{ Ton-cm, OK}$$

Eficiencia del Diseño:  $M_u / (\phi_b M_n)$ .

$$\text{Región de } M(+)\text{max: } 109.150 / 124.428 = 0.88$$

$$\text{Región de } M(-)\text{ entre Traslape y Pt. de Inflexión: } 84.360 / 117.879 = 0.72$$

$$\text{Región de } M(-)\text{ entre Traslape y Apoyo Interno: } 151.676 / 223.852 = 0.68$$

**B. Claro Interior:**

**- Región de Momento Positivo Máximo.**

Perfil considerado: 8EP16.

En esta región se asume que la cubierta provee apoyo lateral continuo al patín de compresión. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art. 3.2.1.2.

$$\text{Ec. (3.11): } M_n = 29.783(3514) = 104.657 \text{ Ton-cm}$$

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.95) 104.657 = 99.42 \text{ Ton-cm} > M = 45.007 \text{ Ton-cm, OK}$$

**- Región comprendida entre el traslape izquierdo y el punto de inflexión:**

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.22),  $L_i = 175.00$  cm

Longitud del traslape izquierdo con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.62),  $L_{tr} = 90.000$  cm

Distancia sin apoyo lateral,  $L = L_i - L_{tr} = 175.00 - 90.00 = 85.00$  cm

Para vigas en voladizo con extremo libre sin apoyo lateral,  $C_b = 1.0$

$$I_{yc} = I_y/2 = 53.53/2 = 26.765 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ec. (3.28): } F_e = \pi^2(2.073 \times 10^6)(1.0)(20.32)(26.765)/[2(34.116)(85)^2] = 11274.736 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.78F_y = 2.78(3415) = 9768.920 \text{ kg/cm}^2$$

$F_e > 2.78F_y$ . Por lo tanto aplica la Ec. (3.23).

$$\text{Ec. (3.23): } F_c = F_y = 3415 \text{ kg/cm}^2 \quad S_c = S_e = 29.783 \text{ cm}^3, \text{ si } F_c = F_y.$$

Aplicando la Ec. (3.22) se obtiene:

$$\text{Ec. (3.22): } M_n = 29.783(3514) = 104.657 \text{ Ton-cm}$$

$$\text{Ec. (5.15): } \phi_b M_n = (0.90) 104.657 = 94.191 \text{ Ton-cm} > M = 78.087 \text{ Ton-cm, OK}$$

**- Región comprendida entre el traslape derecho y el punto de inflexión:**

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.22),  $L_i = 136.00$  cm

Longitud del traslape derecho con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.62),  $L_{tr} = 30.00$  cm

Distancia sin apoyo lateral,  $L = L_i - L_{tr} = 136.00 - 30.00 = 106.00$  cm

Para vigas en voladizo con extremo libre sin apoyo lateral,  $C_b = 1.0$

$$I_{yc} = I_y/2 = 53.53/2 = 26.765 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ec. (5.28): } F_e = \pi^2(2.073 \times 10^6)(1.0)(20.32)(26.765)/[2(34.116)(106)^2] = 14499.816 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.78F_y = 2.78(3415) = 9768.920 \text{ kg/cm}^2$$

$F_e > 2.78F_y$ . Por lo tanto aplica la Ec. (5.23).

$$\text{Ec. (5.23): } F_c = F_y = 3415 \text{ kg/cm}^2 \quad S_c = S_e = 29.783 \text{ cm}^3, \text{ si } F_c = F_y.$$

Aplicando la Ec. (5.22) se obtiene:

$$\text{Ec. (3.22): } M_n = 29.783(3514) = 104.657 \text{ Ton-cm}$$

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.90) 104.657 = 94.191 \text{ Ton-cm} > M = 69.321 \text{ Ton-cm, OK}$$

- **Región de Momento Negativo Comprendida desde el Final del Traslape hasta el Apoyo Interior.**

Perfiles considerados: Dos 8EP16 traslapados.

Resistencia total de los dos polines:

$$M_n = 2(104.657) = 209.314 \text{ Ton-cm. Por lo tanto:}$$

$$\text{Ec. (3.15): } \phi_b M_n = (0.95) 209.314 = 198.848 \text{ Ton-cm} > M = 100.645 \text{ Ton-cm, OK}$$

Eficiencia del Diseño:  $M_u/(\phi_b M_n)$ .

$$\text{Región de } M(+)\text{max: } 45.007/99.424 = 0.45$$

$$\text{Región de } M(-)\text{ entre Traslape Izquierdo y Pt. de Inflexión: } 78.087/94.191 = 0.83$$

$$\text{Región de } M(-)\text{ entre Traslape Izquierdo y Pt. de Inflexión: } 69.321/94.191 = 0.74$$

$$\text{Región de } M(-)\text{ entre Traslape y Apoyo Interno: } 100.645/198.848 = 0.51$$

### 3. Diseño por Cortante Puro

- **Definición de los cortantes requeridos,  $V_u$ .**

Usando el mismo razonamiento expresado en la definición de  $M_u$ , las combinaciones críticas de cortante serán:

a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $V_u = 1.2V_D + 1.6V_{Lr}$

b) Para diseño por cargas de viento:  $V_u = 1.2V_D - 1.3V_W$

Los valores nominales de  $V_D$ ,  $V_{Lr}$  y  $V_W$  se encuentran en los diagramas de cortante dados en la Fig. 3.22. A continuación se presentan los cálculos de  $V_u$ :

$V_u$  debido a diseño por cargas gravitacionales.

Claro extremo:

$V_u$  bajo el apoyo izquierdo:  $V_u = 537.927 \text{ kg}$

$V_u$  al final del traslape derecho:  $V_u = 1043.178 \text{ kg}$

$V_U$  en lado izquierdo de apoyo interior.:  $V_U = 1211.888$  kg

Claro interior:

$V_U$  en lado der. de apoyo int.:  $V_U = 1070.135$  kg

$V_U$  al final del traslape izq.:  $V_U = 817.346$  kg

$V_U$  al final del traslape der.:  $V_U = 807.781$  kg

$V_U$  bajo el apoyo central:  $V_U = 926.385$  kg

$V_u$  para diseño por viento.

Claro extremo:

$V_U$  bajo el apoyo izquierdo:  $V_U = -142.872$  kg

$V_U$  al final del traslape derecho:  $V_U = -189.938$  kg

$V_U$  en lado izquierdo de apoyo interior.:  $V_U = -220.656$  kg

Claro interior

$V_U$  en lado der. de apoyo int.:  $V_U = -194.8467$  kg

$V_U$  al final del traslape izq.:  $V_U = -148.819$  kg

$V_U$  al final del traslape der.:  $V_U = -153.293$  kg

$V_U$  bajo el apoyo central:  $V_U = -168.673$  kg

- **Definición de los Cortante de Diseño,  $\phi V_n$ .**

Los cortantes de diseño para almas sin agujeros se calculan según el Art. 3.2.3.2.

**A. Claro Extremo:**

En el claro extremo se encuentra propuesto el perfil 8EP14. El cortante máximo requerido para este perfil se ubica en el traslape derecho:  $V_u = 1043.718$  kg.

Ancho plano del alma:  $h = D - 2(R + t) = 20.30 - 2(0.396 + 0.190) = 19.128$  cm.

Relación  $h/t = 19.128/0.190 = 100.674$

Coefficiente de pandeo para almas no reforzadas,  $k_v = 5.34$

Definición de los límites de  $h/t$  según la Sección C3.2.1:

$0.96[(2.073 \times 10^6)(5.34)/3514]^{1/2} = 53.880$

$$1.415[(2.073 \times 10^6)(5.34)/3514]^{1/2} = 79.419$$

Como  $100.674 > 79.419$  usar la Ec. (5.133) para calcular  $V_n$ :

$$\text{Ec. (3.41): } V_n = 0.905(2.073 \times 10^6)(5.34)(0.190)^3/19.128 = 3592.364 \text{ kg}$$

Para la Ec. (3.41) aplica el factor de reducción  $\phi_v = 0.90$ . Por lo tanto:

$$\phi_v V_n = 0.90(3592.364) = 3233.128 \text{ kg} > V_u = 1043.178 \text{ kg}$$

En el primer apoyo interior se traslapan los perfiles 8EP14 y 8EP16. El cortante máximo al lado izquierdo de dicho punto es:  $V = 220.656 \text{ kg}$ . La resistencia de diseño por cortante será la suma de las resistencias individuales de ambos perfiles.

Resistencia del 8EP16:

$$\text{Ancho plano del alma: } h = D - 2(R + t) = 20.30 - 2(0.396 + 0.152) = 19.752 \text{ cm.}$$

$$\text{Relación } h/t = 19.752/0.152 = 129.947$$

Coefficiente de pandeo para almas no reforzadas,  $k_v = 5.34$

Como  $129.947 > 79.419$  usar la Ec. (3.41) para calcular  $V_n$ :

$$\text{Ec. (3.41): } V_n = 0.905(2.073 \times 10^6)(5.34)(0.152)^3/19.756 = 1780.824 \text{ kg}$$

Para la Ec. (3.41) aplica el factor de reducción  $\phi_v = 0.90$ . Por lo tanto:

$$\phi_v V_n = 0.90(1780.824) = 1602.741 \text{ kg}$$

$$\text{Suma de resistencias } 3233.128 + 1602.741 = 4835.869 \text{ kg} > V_u = 1211.888 \text{ kg OK}$$

#### **B. Claro Interior:**

El cortante máximo en el lado derecho del primer apoyo intermedio es:  $V_u = 1070.135 \text{ kg}$ . En este punto se traslapan los perfiles 8EP14 y 8EP16, cuya suma de resistencias es:  $4835.869 \text{ kg} > V_u = 1070.135 \text{ kg}$ , OK.

Comparando los valores del cortante en el traslape izquierdo y derecho se observa que controla el traslape izquierdo:  $V_u = 817.346 \text{ kg}$ . Entre dichos traslapes se encuentra el perfil 8EP16, cuya resistencia es:  $\phi_v V_n = 1602.741 \text{ kg} > V_u = 817.346 \text{ kg}$ , OK.

Sobre el segundo apoyo interior se traslapan dos perfiles 8EP16. El cortante máximo al lado izquierdo de dicho punto es:  $V_u = 926.385$  kg. La suma de resistencias será:  $2(1602.741) = 3205.482$  kg  $> V_u = 926.385$  kg, OK.

#### 4. Diseño por Combinación de Flexión y Cortante

Las ecuaciones de interacción de diseño para combinación de flexión y cortante para LRFD están dadas en el Art. 3.2.4.1. La ecuación de diseño para perfiles con almas no reforzadas está dada por la Ec. (3.44).

Se observa en los diagramas de momento y cortante de la Fig. 3.62 que la combinación crítica de flexión y cortante ocurre en el primer apoyo interior. Se revisarán el claro extremo e interior. En los puntos donde se traslapan los perfiles, los valores de  $M_{nxo}$  y  $V_n$  a usarse en la Ec. (3.44) corresponden a la suma de resistencias correspondiente.

##### A. Claro Extremo:

Los valores máximos de  $M_u$  y  $V_u$  para el perfil 8EP14 ocurren en el traslape derecho y están dados por:  $M_u = 84.36$  Ton-cm y  $V_u = 1043.178$  kg. Para dicho perfil sus resistencias correspondientes son:  $M_{nxo} = 130.977$  Ton-cm y  $V_n = 3592.364$  kg. Los factores de resistencia a usar en la Ec. (3.44) están dados por:  $\phi_b = 0.95$  y  $\phi_v = 0.90$ . Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.44): } [84.36 / ((0.95)130.977)]^2 + [1043.178 / ((0.90)3592.364)]^2 = 0.564 < 1.0, \text{ OK.}$$

Para el traslape de los perfiles 8EP14 y 8EP16 los valores máximos de  $M_u$  y  $V_u$  ocurren al lado izquierdo del primer apoyo interior y están dados por:  $M_u = 118.729$  Ton-cm y  $V_u = 808.120$  kg. Para dichos perfiles las sumas de resistencias están dadas por:  $M_{nxo} = 130.977 + 104.657 = 235.634$  Ton-cm y  $V_n = 3592.364 + 1780.824 = 5373.188$  kg. Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.44): } [151.676 / ((0.95)235.634)]^2 + [1211.888 / ((0.9)5376.188)]^2 = 0.522 < 1.0, \text{ OK.}$$

## B. Claro Interior:

Los valores máximos de  $M_u$  y  $V_u$  para el perfil 8EP16 ocurren en el traslape izquierdo y están dados por:  $M_u = 78.087$  Ton-cm y  $V_u = 817.346$  kg. Para dicho perfil sus resistencias correspondientes son:  $M_{n\text{xo}} = 104.657$  Ton-cm y  $V_n = 1780.824$  kg. Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.44): } [78.36/((0.95)104.657)]^2 + [817.346/((0.90)1780.824)]^2 = 0.877 < 1.0, \text{ OK.}$$

Para el traslape de los dos perfiles 8EP16 los valores máximos de  $M_u$  y  $V_u$  ocurren al lado derecho del apoyo central y están dados por:  $M_u = 100.645$  Ton-cm y  $V_u = 926.385$  kg. Para dichos perfiles las sumas de resistencias están dadas por:  $M_{n\text{xo}} = 2(104.657) = 209.314$  Ton-cm y  $V_n = 2(1780.824) = 3561.648$  kg. Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.44): } [100.645/((0.95)209.314)]^2 + [926.385/((0.90)3561.648)]^2 = 0.34 < 1.0, \text{ OK.}$$

## 5. Diseño por Aplastamiento del Alma

- **Determinación de los Aplastamientos Requeridos,  $P_u$ .**

Las combinaciones críticas de cortante serán:

a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $P_u = 1.2P_D + 1.6P_L$

b) Para diseño por cargas de viento:  $P_u = 1.2P_D - 1.3P_W$

Las fuerzas de aplastamiento se obtienen directamente de los valores del diagrama de cortante en los apoyos y donde ocurren cargas concentradas. Por consiguiente, al igual que para el caso del cálculo de  $V_u$ , se puede demostrar que la combinación de fuerzas de aplastamiento debidas a cargas gravitacionales controla sobre las debidas a cargas de viento.

Las fuerzas de aplastamiento se obtienen sumando los valores de los cortantes a la derecha e izquierdo de los apoyos interiores y cargas concentradas y son iguales al cortante en los apoyos exteriores. Por lo tanto:

Aplastamiento  $P_u$  debido a diseño por cargas gravitacionales.

En el apoyo izquierdo:  $P_u = 784.632 \text{ kg}$   
En primer apoyo interior:  $P_u = 2282.022 \text{ kg}$   
En apoyo central:  $P_u = 1852.770 \text{ kg}$

- **Determinación de los Aplastamientos de Diseño,  $\phi_w P_n$ .**

Las ecuaciones de diseño para almas no agujeradas están dadas en el Art.3.2.5.1. Para el cálculo de las resistencias nominales  $P_n$  se supondrá una longitud de contacto de las reacciones en los apoyos de  $N = 15.000 \text{ cm}$ .

#### **A. Apoyos Exteriores**

En este punto la fuerza de aplastamiento esta dada por  $P_u = 784.638 \text{ kg}$ . Al no existir cargas concentradas en el claro, la condición EUP se presenta en apoyos exteriores. Los perfiles seleccionados presentan patines atiesados, por lo que la Tabla 3.2 establece que la Ec. (3.46) debe usarse para calcular  $P_n$ .

A continuación se realiza la revisión de limitantes para la aplicación de la Tabla 3.2 considerando el perfil 8EP14:

$$h/t = 100.674 < 200, \text{ OK}$$

$$N/t = 15.000/0.190 = 78.947 < 210, \text{ OK}$$

$$N/h = 15.000/19.128 = 0.784 < 3.5, \text{ OK}$$

$$R/t = 0.396/0.190 = 2.084 < 6, \text{ OK}$$

Por lo tanto, la Tabla 3.2 es aplicable en este caso.

En este caso,  $N/t > 60$ , por lo que la Sección C3.4.1 permite cambiar  $[1 + 0.01(N/t)]$  por  $[0.71 + 0.015(N/t)]$  en la Ec. (3.46).

A continuación se calculan los parámetros de la Ec. (3.46):

$$k = 894(3514/2.073 \times 10^6) = 1.515$$

$$C_1 = 1.22 - 0.22(1.515) = 0.887$$

$$C_4 = 1.15 - 0.15(2.084) = 0.837$$

$$C_9 = 0.000704$$

$$C_\theta = 0.70 + 0.30(90/90) = 1.000$$

Cálculo de la Ec. (3.46).

$$P_n = (1.90)^2(1.515)(0.887)(0.837)(0.000704)(1.0)[331 - 0.61(100.674)][0.71 + 0.015(78.947)] = 1.4564 \text{ Ton} = 1456.48 \text{ kg}$$

Según la Sección C3.4.1 para almas no reforzadas,  $\phi_w = 0.75$ . Por lo tanto,

$$\phi_w P_n = (0.75)1456.48 = 1092.363 \text{ kg} > 784.632 \text{ kg OK}$$

### B. Apoyos Interiores

En el primer apoyo interior la fuerza de aplastamiento esta dada por  $P_u = 2282.002$  kg. En este punto coinciden los perfiles 8EP14 y 8EP16, por lo que la resistencia total será la suma de las resistencias individuales. En este punto se presenta la condición IUP, por lo que la Tabla 3.2 establece el uso de la Ec. (3.49) para calcular  $P_n$ .

Perfil: 8EP14:

La aplicabilidad de la Tabla 3.2 se estableció anteriormente para este perfil.

Como  $N/t > 60$ , la Sección C3.4.1 permite cambiar  $[1 + 0.007(N/t)]$  por  $[0.75 + 0.011(N/t)]$  en la Ec.(3.49).

$$C_2 = 1.06 - 0.06(2.084) = 0.935 \leq 1 \text{ OK}$$

$$P_n = (1.90)^2(1.515)(0.887)(0.935)(0.000704)(1.0)[538 - 0.74(100.674)][0.75 + 0.011(78.947)] = 2.6998 \text{ Ton} = 2699.81 \text{ kg}$$

Perfil 8EP16:

Revisión de la aplicabilidad de la Tabla 3.2:

$$h/t = 129.947 < 200, \text{ OK}$$

$$N/t = 15.000/0.152 = 98.684 < 210, \text{ OK}$$

$$N/h = 15.000/19.752 = 0.759 < 3.5, \text{ OK}$$

$$R/t = 0.396/0.152 = 2.605 < 6, \text{ OK}$$

Por lo tanto, la Tabla 3.2 es aplicable en este caso.

$$C_2 = 1.06 - 0.06(2.605) = 0.904 \leq 1 \text{ OK}$$

$$\text{Ec.(3.49)} P_n = (1.52)^2(1.515)(0.887)(0.904)(0.000704)(1.0)[538 - 0.74(129.997)][0.75 + 0.011(98.684)] = 1.60274 \text{ Ton} = 1602.747 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la suma de resistencias será:  $P_n = 2699.81 + 1602.747 = 4302.557 \text{ Kg}$

Para perfiles Z empalmados, el Art. 3.2.5.1 establece que  $\phi_w = 0.75$ .

$$\phi_w P_n = (0.75)4302.557 = 3226.917 \text{ kg} > 2282.022 \text{ kg OK}$$

En el apoyo central la fuerza de aplastamiento está dada por:  $P_u = 1852.770 \text{ kg}$ . Al igual que en el primer apoyo interior, en este punto existe la condición de carga IUP, por lo que la Ec. (3.49) es aplicable. En este punto coinciden dos perfiles 8EP16, por lo que la suma de resistencias será:

$$P_n = 2(1602.747) = 3209.494 \text{ kg}$$

$$\phi_w P_n = (0.75)3209.494 = 2407.120 \text{ kg} > 1852.770 \text{ kg OK}$$

## 6. Diseño por Combinación de Aplastamiento del Alma y Flexión

Las ecuaciones de diseño para combinación de flexión y aplastamiento del alma, (ver Art. 3.2.6.3). Para perfiles Z empalmados, y LRFD aplica la Ec. (3.61). Dicha combinación es crítica en los apoyos interiores.

### A. Primer Apoyo Interior

Los valores máximos de las resistencias requeridas en este punto están dadas por:  $M_u = 151.676 \text{ Ton-cm}$  y  $P_u = 2282.022 \text{ kg}$ . En este punto aplica la condición IUP y la Ec. (3.59) y actúa el traslape de los perfiles 8EP14 y 8EP16. Las resistencias nominales totales están dadas por la suma de las resistencias nominales individuales:  $M_{n\text{xo}} = 235.634 \text{ Ton-cm}$  y  $P_n = 4302.557 \text{ kg}$ . Los factores de resistencia están dados por:  $\phi = 0.90$ . Ec. (3.61):

$$(2282.022/4302.557) + (151.575/235.634) = 1.173 < 1.68(0.90) = 1.512 \text{ OK}$$

### B. Apoyo Central

Los valores máximos de las resistencias requeridas en este punto están dadas por:  $M_u = 100.645 \text{ Ton-cm}$  y  $P_u = 1852.770 \text{ kg}$ . En este punto también aplica la condición IUP y la Ec. (3.59) y actúa el traslape de dos perfiles 8EP16. Las resistencias nominales totales están dadas por la suma de las resistencias nominales individuales:  $M_{n\text{xo}} = 209.314 \text{ Ton-cm}$  y  $P_n = 4302.557 \text{ kg}$ . Ec. (3.31):

$$(1852.770/4302.557) + (100.645/209.314) = 0.911 < 1.68(0.90) = 1.512, \text{ OK.}$$

## 7. Revisión de la Condición de Succión por Viento

Debido a que durante el cálculo de  $M_u$  para la condición de succión por viento se presentaron cambios en el sentido del momento, el patín superior será el patín de tensión. Los valores máximos de  $M_u$  ocurrieron cerca del centro de los claros están dados por:  $M_u = -17.630$  Ton-cm y  $-10.669$  Ton-cm para los claros extremos e interiores, respectivamente.

La ecuación de diseño para cuando el patín de tensión se encuentra atornillado a la lámina de cubierta, (ver Art. 3.2.7.1). En este caso, para perfiles Z continuos,  $R = 0.70$ . El factor de resistencia está dado por  $\phi_b = 0.90$

### A. Cerca del Centro de Claros Extremos

Actúa el perfil 9EP14 ( $S_e = 37.273$  cm<sup>3</sup>). Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.62): } M_n = 0.70(3514)(37.273) = 91684.125 \text{ kg-cm} = 91.684 \text{ Ton-cm}$$

$$\phi_b M_n = 0.90(91.684) = 82.516 \text{ Ton-cm} > 17.630 \text{ Ton-cm, OK.}$$

### B. Cerca del Centro de Claros Interiores

Actúa el perfil 8EP16 ( $S_e = 29.783$  cm<sup>3</sup>). Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.62): } M_n = 0.70(3514)(29.783) = 73260.223 \text{ kg-cm} = 73.260 \text{ Ton-cm}$$

$$\phi_b M_n = 0.90(73.260) = 65.934 \text{ Ton-cm} > 10.669 \text{ Ton-cm, OK.}$$

## 8. Cálculo de Fuerzas de Anclaje

Para polines Z con claros múltiples con puntos de restricción en los apoyos debe usarse la Ec.(3.66) dada en el Art. 3.2.8.1. Se consideran anclajes en cada quinto polín.

$$\theta = \tan^{-1}(6/100) = 3.434^\circ$$

$$b = 6.90 \text{ cm}$$

$$d = 20.30 \text{ cm}$$

$$L = 710 \text{ cm}$$

$$t = 0.190 \text{ cm y } 0.152 \text{ cm}$$

$$W = nL(1.2w_D + 1.6w_{Lr}) = 5(7.10)((1.2)57.0 + (1.3)133.0) = 9982.60 \text{ kg/m}$$

#### A. Condición de Carga Gravitacional

##### Claro extremo:

$$t = 0.190 \text{ cm}$$

Ec. (3.66):

$$P_L = C_{tr} \left\{ \frac{((0.053)(6.9)^{1.88}(710)^{0.13}(\cos 3.434^\circ))}{((5)^{0.95}(20.3)^{1.07}(0.190)^{0.95})} - \sin 3.434^\circ \right\} (9982.60) = 1331.215 C_{tr}$$

##### Claro interior:

$$t = 0.152 \text{ cm}$$

Ec. (3.66):

$$P_L = C_{tr} \left\{ \frac{((0.053)(6.9)^{1.88}(710)^{0.13}(\cos 3.434^\circ))}{((5)^{0.95}(20.3)^{1.07}(0.152)^{0.94})} - \sin 3.434^\circ \right\} (9982.60) = 1781.434 C_{tr}$$

El Art. 3.2.8.1 establece los valores de  $C_{tr}$  es función de la ubicación de los apoyos:

Para apoyos extremos:  $C_{tr} = 0.63$ . Por lo tanto:  $P_L = 1331.215 (0.63) = 838.665 \text{ kg}$

Para primer apoyo interno:  $C_{tr} = 0.87$ . Se promedia la contribución de polines adyacentes:

$$P_L = 0.87(1331.215 + 1781.434)/2 = 1354.00 \text{ kg}$$

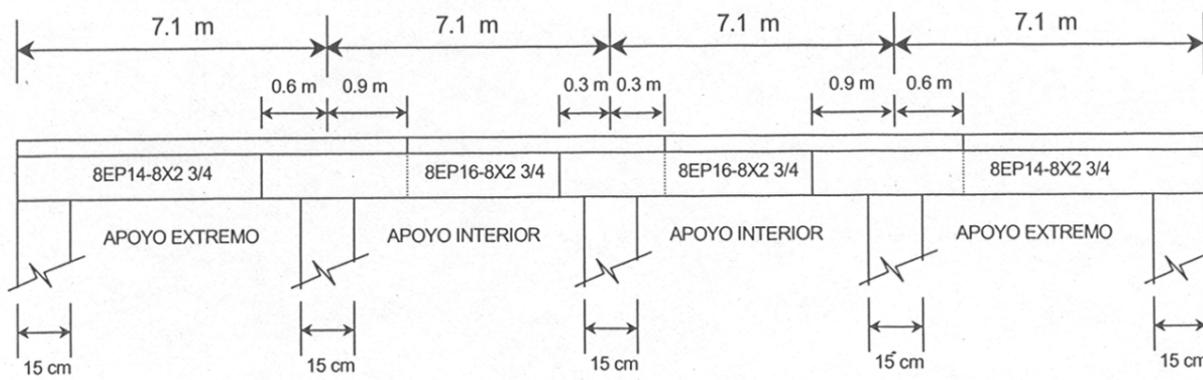
Para apoyo central:  $C_{tr} = 0.81$ . Se promedia la contribución de polines adyacentes:

$$P_L = 0.81(1781.434)/2 = 1442.962 \text{ kg}$$

**B. Condición de Succión por Viento:**

$W = nL(1.2w_D - 1.6w_w) = 5(7.10)((1.2)57 - (1.6)92) = -1817.60 \text{ kg} < 9982.60 \text{ kg}$ , por lo que controla el anclaje para carga gravitacional.

**Diseño Final:**



**Ejemplo 3.2** Diseñe por el Método ASD un polín de sección Z a ser usado en una cubierta con pendiente del 5% para las condiciones de apoyo y carga mostradas en la Fig. 3.23. Se requiere además considerar el diseño por viento y determinar las fuerzas de anclaje en apoyos laterales. Consideren apoyos laterales en los extremos de cada claro y que las fuerzas acumuladas en dichos apoyos se transmiten (anclaje) a la estructura principal a cada quinto polín. Considere  $F_y = 3514 \text{ kg/cm}$ .

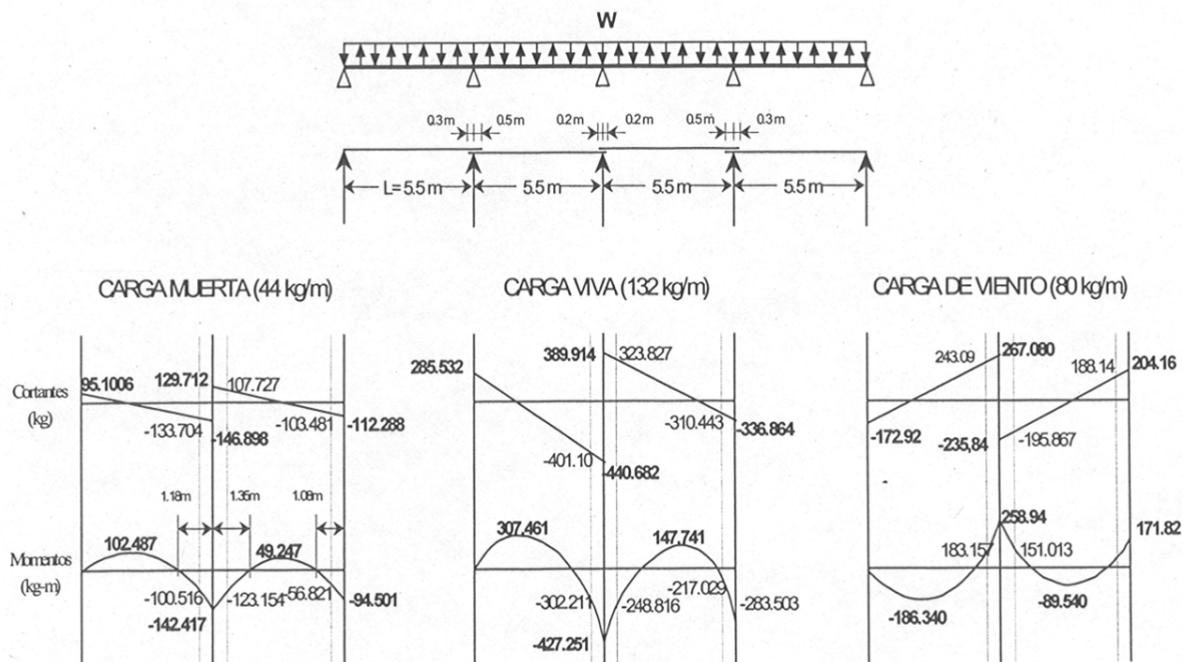


Fig.3.23 Ejemplo 3.2

### 1. Criterios de Diseño

Considerar los mismos criterios expuestos en el Ejemplo 3.1.

### 2. Diseño por Flexión Pura

- **Definición de los Momentos Requeridos, M.**

Se debe identificar primero las combinaciones de carga que controlan el diseño. Las combinaciones de carga que deben ser consideradas se especifican en el Artículo 3.1, punto 22. Se debe considerar la combinación que controle el diseño por cargas

gravitacionales y por viento. Por inspección, las siguientes combinaciones de carga serán las que controlen:

- a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $D + L_r$
- b) Para diseño por viento:  $= 0.75(D - W)$ . (ver Art. 3.1, punto 22) permite que las combinaciones de carga que incluyan cargas de viento o sismo sean multiplicadas por un factor de reducción de 0.75

Donde todos los términos se definen en el Art. 3.1, punto 22.

Debido a que las combinaciones de carga son igualmente válidas para combinaciones de "efectos de carga" y los momentos flexionantes son directamente proporcionales a las cargas, las combinaciones de momentos flexionantes serán:

- a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $M = M_D + M_{Lr}$
- b) Para diseño por cargas de viento:  $M = 0.75(M_D - M_W)$

Los valores nominales de  $M_D$ ,  $M_{Lr}$  y  $M_W$  se encuentran en los diagramas de momento dados en la Fig. 3.23. A continuación se presentan los cálculos de M:

a).-Momentos (M) debido a diseño por cargas gravitacionales.

$$M = M_D + M_{Lr}$$

Claro extremo:

M(+) máximo:  $M = 40,995 \text{ Ton-cm}$

M(-) al final del traslape derecho:  $M = 40,273 \text{ Ton-cm}$

M(-) bajo el apoyo interior:  $M = 56,967 \text{ Ton-cm}$

Claro interior:

M(-) al final del traslape izquierdo:  $M = 37,197 \text{ Ton-cm}$

M(+) máximo:  $M = 19,699 \text{ Ton-cm}$

M(-) al final del traslape derecho:  $M = 27,385 \text{ Ton-cm}$

M(-) bajo el apoyo interior:  $M = 37,800 \text{ Ton-cm}$

b).- Momentos (M) para diseño por viento.

$$M = 0.75(M_D - M_W)$$

Claro extremo:

M cerca del centro del claro:  $M = -6,289 \text{ Ton-cm}$

Claro interior:

M cerca del centro del claro:  $M = -3,022 \text{ Ton-cm}$

Los momentos M negativos indican que la carga de viento factorizada contrarresta a la carga muerta factorizada, por lo que se invierte el sentido del momento, convirtiendo al patín superior en el patín de tensión. Debido a que la resistencia a flexión se ve afectada por este hecho, se deberá revisar la resistencia de la sección según lo indicado el Artículo 3.2.7.1.

- **Selección de Perfiles Iniciales en Función de su Resistencia a Flexión:**

Se propone seleccionar el perfil en base a su resistencia a flexión y revisar el perfil seleccionado para las otras resistencias pertinentes y para la condición de carga por viento.

La selección del perfil inicial se realizará en base a los momentos máximos que ocurren en la región central del claro, ya que en dicha región la sección Z simple deberá resistir el momento. Como el momento máximo gravitacional excede al de viento, el gravitacional controla. Cabe mencionar que el momento negativo máximo (bajo el apoyo interior) excede al máximo positivo (en la región central), pero bajo el apoyo existirá un empalme de dos secciones Z, el cual tendrá una mayor resistencia a la flexión que la sección Z simple.

Asuma que la resistencia de la sección se basa en el Inicio de Fluencia (Art. 3.2.1.2), por lo que la resistencia nominal  $M_n$  estará dada por la Ec. (3.11):  $M_n = S_e F_y$ . Para que la sección seleccionada sea aceptable se requiere que cumpla con la Ec.

(3.14):  $M_n/\Omega_b \geq \Sigma M_i = M$ . Por lo tanto, si  $M_n/\Omega_b = M$  es la condición mínima aceptable, entonces  $M_n = \Omega_b M$ . Substituyendo ésta expresión en la Ec. (3.11) y despejando para  $S_e$  se obtiene:

$$(S_e)_{min} = \frac{\Omega_b M}{F_y} \quad (3.70)$$

La Ec. (3.70) puede considerarse como la ecuación básica para la selección inicial del perfil en base al Método ASD. Asumiendo que se seleccionará una sección Z con labios atiesadores, (ver Art. 3.2.1.2) requiere que  $\Omega_b = 1.67$ . Por lo tanto:

Ec. (3.70): -  $(S_e)_{min} = (1.67)(40.273 \times 10^3 / 3514) = 19.139 \text{ cm}^3$  para claros extremos.  
 -  $(S_e)_{min} = (1.67)(19.699 \times 10^3 / 3514) = 9.362 \text{ cm}^3$  para claros interiores.

Se recomienda seleccionar una sección Z con labios atiesadores con  $S_e \geq 19.139 \text{ cm}^3$  en claros extremos y  $S_e \geq 9.362 \text{ cm}^3$  en claros internos. Es recomendable hacer una selección inicial conservadora y posteriormente optimizar el diseño. Se recurrirá al ANEXO II, Tabla 2, "Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte, Perfiles de PROLAMSA" de la Disertación de Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte. Se seleccionaron los siguientes perfiles:

Para Claro Extremo: 6EP12-6x2;	$S_e = 32.081 \text{ cm}^3$
Para Claro Interior: 6EP16-6x2;	$S_e = 19.137 \text{ cm}^3$

Se seleccionará el perfil 6EP12-6x2 para los claros extremos. En los claros interiores se propone el perfil 6EP16-6x2.

Del ANEXO I, Tabla 2 "Propiedades Geométricas No Reducidas para Secciones Z con Labios Atiesadores" de la Disertación de Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte, se obtuvieron las siguientes propiedades geométricas relevantes:

**Perfil 6EP12-6x2:**

t = 0.266 cm       $S_f = 31.851 \text{ cm}^3$       A'=D = 152.000 mm  
R = 0.396 cm       $I_x = 242.065 \text{ cm}^4$        $I_y = 37.110 \text{ cm}^4$

**Perfil 6EP16-6x2:**

t = 0.152 cm       $S_f = 18.989 \text{ cm}^3$       A'=D = 152.000 mm  
R = 0.396 cm       $I_x = 144.318 \text{ cm}^4$        $I_y = 23.099 \text{ cm}^4$

Cabe mencionar, las ecuaciones para calcular cada propiedad geométrica se encuentran en el ANEXO I.

• **Definición de los Momentos de Diseño,  $M_n/\Omega_b$**

**A. Claro Extremo:**

**- Región de Momento Positivo Máximo:**

Perfil considerado: 6EP12-6x2.

En esta región se asume que la cubierta provee apoyo lateral continuo al patín de compresión. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art. 3.2.1.2, Ec. (3.11).

$$\text{Ec. (3.11): } M_n = 32.081(3514) = 112,732.634 \text{ kg-cm} = 112.733 \text{ Ton-cm}$$

$$\text{Ec. (3.14): } M_n/\Omega_b = 112.733/1.67 = 67.505 \text{ Ton-cm} > M = 40.273 \text{ Ton-cm, OK}$$

**- Región de Momento Negativo Comprendida entre el Final del Traslape y el Punto de Inflexión:**

Perfil considerado: 6EP12-6x2.

En esta región se asume que el polín es una viga en voladizo con el extremo libre sin apoyo lateral. Por consiguiente, el pandeo latero-torsional deberá ser investigado y la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento dado en el Art. 3.2.2.3.

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.23),  $L_i = 118.00 \text{ cm}$

Longitud del traslape derecho con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.23),  $L_{tr} = 30.00 \text{ cm}$

Distancia sin apoyo lateral,  $L = L_i - L_{tr} = 118.00 - 30.00 = 88.00$  cm

Para vigas en voladizo con extremo libre sin apoyo lateral,  $C_b = 1.0$

Para vigas con simetría con respecto a un punto y flexionadas con respecto a al eje perpendicular al eje de simetría usar la Ec. (3.28) para determinar  $F_e$ .

$$I_{yc} = I_y/2 = 37.110/2 = 18.555 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ec. (3.28): } F_e = \pi^2[(2.073 \times 10^6)(1.0)(15.20)(18.555)/[2(31.851)(88.00)^2]] = 11697.288 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e \geq 2.78F_y = 2.78(3514) = 9768.92 \text{ kg/cm}^2. \text{ Por lo tanto aplica la Ec. (3.24).}$$

$$\text{Ec. (3.24): } F_c = F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$$

$S_c = S_e = 32.081 \text{ cm}^3$  cuando  $F_c = F_y$ . Aplicando la Ec. (3.23) se obtiene:

$$\text{Ec. (3.23): } M_n = 32.081(3514) = 112732.634 \text{ kg-cm} = 112.732 \text{ Ton-cm}$$

En este caso, las Ecs. (3.11) y (3.23) produce el mismo valor de  $M_n$ , ya que la resistencia de la sección controla sobre la resistencia al pandeo latero-torsional cuando  $F_e > 2.78F_y$ . El Art. 3.2.2.3 especifica un valor de  $\Omega_b = 1.67$ .

Por lo tanto:

$$M_n/\Omega_b = 67.504 \text{ Ton-cm} > M = 40.273 \text{ Ton-cm}, \text{ OK}$$

**- Región de Momento Negativo Comprendida desde el Final del Traslape hasta el Apoyo Interior.**

Perfiles considerados: 6EP12-6x2 y 6EP16-6x2 traslapados.

En esta región se asume que existe apoyo lateral adecuado. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art. 3.2.1.2, sumando las resistencias de los polines traslapados.

Resistencia del polín 6EP16-6x2:

$$\text{Ec. (3.11): } M_n = 19.137(3514) = 67.247 \text{ Ton-cm}$$

Resistencia total de los dos polines:  $M_n = 112.733 + 67.247 = 179.980 \text{ Ton-cm}$ . Por lo tanto:

$$M_n/\Omega_b = 179.980/1.67 = 107.772 \text{ Ton-cm} > M = 56.967 \text{ Ton-cm}, \text{ OK}$$

**Eficiencia del Diseño:  $\Omega_b M/M_n$ .**

Región de M(+)max:  $1.67(40.995)/112.733 = 0.61$

Región de M(-) entre Traslape y Pt. de Inflexión:  $1.67(40.273)/112.733 = 0.60$

Región de M(-) entre Traslape y Apoyo Interno:  $1.67(56.967)/179.980 = 0.53$

Esto equivale a una eficiencia máxima para la resistencia a flexión de 0.61 para el claro extremo, la cual se considera baja.

**B. Claro Interior**

**- Región de Momento Positivo Máximo.**

Perfil considerado: 6EP16-6x2.

En esta región se asume que la cubierta provee apoyo lateral continuo al patín de compresión. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art.3.2.1.2.

Ec. (3.11):  $M_n = 19.137(3514) = 67.247 \text{ Ton-cm}$

Ec. (3.14):  $M_n/\Omega_b = 67.247/1.67 = 40.268 \text{ Ton-cm} > M = 19.699 \text{ Ton-cm}$ , OK

**- Región de Momento Negativo Comprendida entre el Traslape Izquierdo y el Punto de Inflexión:**

Perfil considerado: 6EP16-6x2.

En esta región se asume que el polín es una viga en voladizo con el extremo libre sin apoyo lateral. Por consiguiente, el pandeo latero-torsional deberá ser investigado y la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento dado en el Art. 3.2.2.3.

Para vigas con simetría con respecto a un punto y flexionadas con respecto a al eje perpendicular al eje de simetría usar la Ec. (3.28) para determinar  $F_e$ .

Región comprendida entre el traslape izquierdo y el punto de inflexión:

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.23),  $L_i = 135.00 \text{ cm}$

Longitud del traslape izquierdo con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.22),  $L_{tr} = 50.00 \text{ cm}$

Distancia sin apoyo lateral,  $L = L_i - L_{tr} = 135.00 - 50.00 = 85.00 \text{ cm}$

Para vigas en voladizo con extremo libre sin apoyo lateral,  $C_b = 1.0$

$$I_{yc} = I_y/2 = 23.099/2 = 11.550 \text{ cm}^4$$

$$\text{Ec. (3.28): } F_e = \pi^2[(2.073 \times 10^6)(1.0)(15.20)(11.550)/[2(18.989)(85.00)^2] = 13090.453 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e \geq 2.78F_y = 2.78(3514) = 9768.92 \text{ kg/cm}^2. \text{ Por lo tanto aplica la Ec. (3.24).}$$

$$\text{Ec. (3.24): } F_c = F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$$

$S_c = S_e = 19.137 \text{ cm}^3$  cuando  $F_c = F_y$ . Aplicando la Ec. (3.23) se obtiene:

$$\text{Ec. (3.23): } M_n = 19.137(3514) = 67.247 \text{ Ton-cm}$$

$$M_n/\Omega_b = 67.247/1.67 = 40.268 \text{ Ton-cm} > M = 37.197 \text{ Ton-cm, OK}$$

**- Región comprendida entre el traslape derecho y el punto de inflexión:**

Distancia del apoyo interior al punto de inflexión (ver Fig. 3.23),  $L_i = 106.00 \text{ cm}$

Longitud del traslape derecho con respecto al apoyo interior (ver Fig. 3.23),

$$L_{tr} = 20.00 \text{ cm}$$

$$\text{Distancia sin apoyo lateral, } L = L_i - L_{tr} = 106.00 - 20.00 = 86.00 \text{ cm}$$

Como  $L = 86.00 \text{ cm} \approx 85.00 \text{ cm}$ , la resistencia en la región del traslape derecho  $M_n/\Omega_b$  será aproximadamente igual que la del traslape izquierdo, por lo tanto, la resistencia requerida en el traslape derecho aproximadamente igual ( $M = 27.385 \text{ Ton-cm}$ ), el perfil cumple.

**- Región de Momento Negativo Comprendida desde el Final del Traslape hasta el Apoyo Interior.**

Perfiles considerados: Dos 6EP16-6x2 traslapados.

En esta región se asume que existe apoyo lateral adecuado. Por consiguiente, la resistencia a flexión se calculará por el procedimiento de inicio de fluencia dado en el Art. 3.2.1.2, sumando las resistencias de los polines.

$$\text{Resistencia total de los dos polines: } M_n = 2(67.247) = 134.494 \text{ Ton-cm.}$$

Por lo tanto:

$$M_n/\Omega_b = 134.494/1.67 = 80.535 \text{ Ton-cm} > M = 37.800 \text{ Ton-cm, OK}$$

**Eficiencia del Diseño:  $\Omega_b M/M_n$ .**

Región de M(+)<sub>max</sub>:  $1.67(19.699)/67.247 = 0.49$

Región de M(-) entre Traslape y Pt. de Inflexión:  $1.67(37.197)/67.247 = 0.92$

Región de M(-) entre Traslape y Apoyo Interno:  $1.67(27.385)/67.247 = 0.68$

Esto equivale a una eficiencia máxima para la resistencia a flexión de 0.92 para el claro interior, la cual puede considerarse aceptable.

**3. Diseño por Cortante Puro**

• **Definición de los cortantes requeridos, V**

Usando el mismo razonamiento expresado en la definición de M, las combinaciones críticas de cortante serán:

c) Para diseño por cargas gravitacionales:  $V = V_D + V_{Lr}$

d) Para diseño por cargas de viento:  $V = 0.75(V_D - V_W)$

Los valores nominales de  $V_D$ ,  $V_{Lr}$  y  $V_W$  se encuentran en los diagramas de cortante dados en la Fig. 3.23. A continuación se presentan los cálculos de V:

a).- V debido a diseño por cargas gravitacionales.

$$V = V_D + V_{Lr}$$

Claro extremo:	kg
V bajo el apoyo izquierdo:	$V = 380,638$ kg
V al final del traslape der.:	$V = 534,804$ kg
V en lado izq. de apoyo int.:	$V = 587,580$ kg
Claro interior:	
V en lado der. de apoyo int.:	$V = 519,626$ kg
V al final del traslape izq.:	$V = 431,554$ kg
V al final del traslape der.:	$V = 413,924$ kg
V bajo el apoyo central:	$V = 449,152$ kg

Se puede demostrar que en todos los puntos calculados, los cortantes por cargas gravitacionales exceden a los cortantes por cargas de viento. Debido a que el sentido del cortante no afecta la resistencia al cortante, el diseño por cortante se realizará para los cortantes por carga gravitacional.

- **Definición de los Cortante de Diseño,  $V_n/\Omega_w$**

Los cortantes de diseño para almas sin agujeros se calculan según el Art. 3.2.3.3.

**A. Claro Extremo:**

En el claro extremo se encuentra propuesto el perfil 6EP12-6x2. El cortante máximo requerido para este perfil se ubica en el traslape derecho:  $V = 534.804$  kg.

Ancho plano del alma:  $h = D - 2(R + t) = 15.20 - 2(0.396 + 0.266) = 13.876$  cm.

Relación  $h/t = 13.876/0.266 = 52.165$

Coefficiente de pandeo para almas no reforzadas,  $k_v = 5.34$

Definición de los límites de  $h/t$  según el Art. 3.2.3.3:

$$0.96[(2.073 \times 10^6)(5.34)/3514]^{1/2} = 53.882$$

Como  $h/t < 53.882$ . Entonces usar la Ec.(3.39).

$$\text{Ec.(3.39): } V_n = 0.60(3514)(13.876)(0.266) = 7782.138 \text{ Kg}$$

Para la Ec. (3.39) aplica el factor de reducción .  $\Omega_w = 1.50$  Por lo tanto:

$$V_n/\Omega_w = 7782.138/1.50 = 5188.092 \text{ kg} > V = 534.804 \text{ kg, OK}$$

En el primer apoyo interior se traslapan los perfiles 6EP12-6X2 y 6EP16-6x2. El cortante máximo al lado izquierdo de dicho punto es:  $V = 587.580$  kg. La resistencia de diseño por cortante será la suma de las resistencias individuales de ambos perfiles.

Resistencia del 6EP16-6x2:

Ancho plano del alma:  $h = D - 2(R + t) = 15.20 - 2(0.396 + 0.152) = 14.104$  cm.

Relación  $h/t = 14.104 / 0.152 = 92.789$

$$0.96[(2.073 \times 10^6)(5.34)/3514]^{1/2} = 53.882$$

$$1.415[(2.073 \times 10^6)(5.34)/3514]^{1/2} = 79.419$$

Como  $92.789 > 79.419$  usar la Ec. (3.41) para calcular  $V_n$ :

$$\text{Ec. (3.41): } V_n = 0.905(2.073 \times 10^6)(5.34)(0.152)^3/14.104 = 2494.466 \text{ kg}$$

Para la Ec. (3.41) aplica el factor de reducción  $\Omega_w = 1.67$ . Por lo tanto:

$$V_n/\Omega_w = 2494.466/1.67 = 1493.692 \text{ kg}$$

Suma de resistencias:  $1493.692 + 5188.092 = 6681.784 \text{ kg} > V = 587.580 \text{ kg}$ , OK

#### **B. Claro Interior:**

El cortante máximo en el lado derecho del primer apoyo intermedio es:  $V = 519.626$  kg. En este punto se traslapan los perfiles 6EP12-6x2 y 6EP16-6x2, cuya suma de resistencias es:  $6681.784 \text{ kg} > V = 519.626 \text{ kg}$ , OK.

Comparando los valores del cortante en el traslape izquierdo y derecho se observa que controla el traslape izquierdo:  $V = 431.554$  kg. Entre dichos traslapes se encuentra el perfil 6EP16-6x2, cuya resistencia es:

$$1493.692 \text{ kg} > V = 431.554 \text{ kg}, \text{ OK.}$$

Sobre el segundo apoyo interior se traslapan dos perfiles 6EP16-6x2. El cortante máximo al lado izquierdo de dicho punto es:  $V = 449.152$  kg.

La suma de resistencias será:

$$2(1493.692) = 2987.384 \text{ kg} > V = 449.152 \text{ kg}, \text{ OK.}$$

#### **4. Diseño por Combinación de Flexión y Cortante**

Las ecuaciones de interacción de diseño para combinación de flexión y cortante para ASD están dadas en el Art. 3.2.4.1. La ecuación de diseño para perfiles con almas no reforzadas está dada por la Ec. (3.43).

Se observa en los diagramas de momento y cortante de la Fig. 3.23 que la combinación crítica de flexión y cortante ocurre en el primer apoyo interior. Se revisarán el claro extremo e interior. En los puntos donde se traslapan los perfiles, los

valores de  $M_{n\text{xo}}$  y  $V_n$  a usarse en la Ec. (3.43) corresponden a la suma de resistencias correspondiente.

#### **A. Claro Extremo:**

Los valores máximos de  $M$  y  $V$  para el perfil 6EP12-6x2 ocurren en el traslape derecho y están dados por:  $M = 40.273$  Ton-cm y  $V = 534.804$  kg. Para dicho perfil sus resistencias correspondientes son:  $M_{n\text{xo}} = 112.733$  Ton-cm y  $V_n = 7782.138$  kg. Los factores de resistencia a usar en la Ec. (3.43) están dados por:  $\Omega_b = 1.67$  y  $\Omega_w = 1.50$ . Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.43): } [1.67(40.273)/112.733]^2 + [1.50(534.804)/7782.138]^2 = 0.367 < 1.0, \text{ OK.}$$

Para el traslape de los perfiles 6EP12-6x2 y 6EP16-6x2 los valores máximos de  $M$  y  $V$  ocurren al lado izquierdo del primer apoyo interior y están dados por:  $M = 56.967$  Ton-cm y  $V = 587.580$  kg. Para dichos perfiles las sumas de resistencias están dadas por:  $M_{n\text{xo}} = 179.980$  Ton-cm y  $V_n = 7782.138 + 2494.466 = 10276.604$  kg. Los factores de resistencia a usar en la Ec. (3.43) están dados por:  $\Omega_b = \Omega_w = 1.67$ . Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.43): } [1.67(56.967)/179.98]^2 + [1.67(587.580)/10276.604]^2 = 0.289 < 1.0, \text{ OK.}$$

#### **B. Claro Interior:**

Los valores máximos de  $M$  y  $V$  para el perfil 6EP16-6x2 ocurren en el traslape izquierdo y están dados por:  $M = 37.197$  Ton-cm y  $V = 431.554$  kg. Para dicho perfil sus resistencias correspondientes son:  $M_{n\text{xo}} = 67.247$  Ton-cm y  $V_n = 2494.466$  kg. Por lo tanto:

$$\text{Ec. (3.43): } [1.67(37.197)/67.247]^2 + [1.67(431.554)/2494.466]^2 = 1.213 > 1.0$$

El perfil no cumple en este punto. Se recomienda extender el traslape hasta alcanzar valores de  $V$  y  $M$  que permitan que cumpla la Ec. (3.43) o se puede cambiar el perfil en el claro interior.

NOTA: Por diseño se debe pasar al siguiente perfil (6EP14-6x2), y todas las revisiones anteriores se cumplen satisfactoriamente para el perfil 6EP16-6x2 que es

menor, por lo tanto, las revisiones anteriormente realizadas cumplirán con dicho perfil propuesto. Por fines de ejemplo se continuo con las revisiones del mismo perfil seleccionado inicialmente (6EP16-6x2).

Para el traslape de los dos perfiles 6EP16-6x2 los valores máximos de M y V ocurren al lado derecho del apoyo central y están dados por:  $M = 37.800 \text{ Ton-cm}$  y  $V = 449.152 \text{ kg}$ . Para dichos perfiles las sumas de resistencias están dadas por:  $M_{n\text{xo}} = 134.494 \text{ Ton-cm}$  y  $V_n = 2(2494.466) = 4988.932 \text{ kg}$ . Por lo tanto:

Ec. (3.43):  $[1.67(37.80)/134.494]^2 + [1.67(449.152)/4988.932]^2 = 0.243 < 1.0$ , OK.

## 5. Diseño por Aplastamiento del Alma

### • Determinación de los Aplastamientos Requeridos, P

Las combinaciones críticas de cortante serán:

a) Para diseño por cargas gravitacionales:  $P = P_D + P_{Lr}$

b) Para diseño por cargas de viento:  $P = 0.75(P_D - P_W)$

Las fuerzas de aplastamiento se obtienen directamente de los valores del diagrama de cortante en los apoyos y donde ocurren cargas concentradas. Por consiguiente, al igual que para el caso del cálculo de V, se puede demostrar que la combinación de fuerzas de aplastamiento debidas a cargas gravitacionales controla sobre las debidas a cargas de viento.

La fuerzas de aplastamiento se obtienen sumando los valores de los cortantes a la derecha e izquierdo de los apoyos interiores y cargas concentradas y son iguales al cortante en los apoyos exteriores. Por lo tanto:

En el apoyo izquierdo:  $P = 95.106 + 285.532 = 380.638 \text{ kg}$

En primer apoyo interior.:  $P = (146.898 + 129.712) + (440.682 + 389.914) =$   
 $1107.206 \text{ kg}$

En apoyo central:  $P = 2(112.288) + 2(336.864) = 898.304 \text{ kg}$

- **Determinación de los Aplastamientos de Diseño,  $P_n/\Omega_w$**

Las ecuaciones de diseño para almas no agujeradas están dadas en el Art. 3.2.5.1. Para el cálculo de las resistencias nominales  $P_n$  se supondrá una longitud de contacto de las reacciones en los apoyos de  $N = 15.000$  cm.

#### **A. Apoyos Exteriores**

En este punto la fuerza de aplastamiento esta dada por  $P = 380.638$  kg. Al no existir cargas concentradas en el claro, la condición EUP se presenta en apoyos exteriores. Los perfiles seleccionados presentan patines atiesados, por lo que la Tabla 3.2 establece que la Ec. (3.46) debe usarse para calcular  $P_n$ .

A continuación se realiza la revisión de limitantes para la aplicación de la Tabla 3.2 considerando el perfil 6EP12-6x2:

$$h/t = 13.876/0.266 = 52.165 < 200, \text{ OK}$$

$$N/t = 15.000/0.266 = 56.391 < 210, \text{ OK}$$

$$N/h = 15.000/13.876 = 1.081 < 3.5, \text{ OK}$$

$$R/t = 0.476/0.266 = 1.489 < 6, \text{ OK}$$

Por lo tanto, la Tabla 3.2 es aplicable en este caso.

En este caso,  $N/t < 60$ , por lo que la Sección C3.4.1 no permite cambiar  $[1 + 0.01(N/t)]$  por  $[0.71 + 0.015(N/t)]$  en la Ec. (3.46).

A continuación se calculan los parámetros de la Ec. (3.46):

$$k = 894(3514/2.073 \times 10^6) = 1.515$$

$$C_1 = 1.22 - 0.22(1.515) = 0.8867$$

$$C_4 = 1.15 - 0.15(1.489) = 0.927$$

$$C_9 = 0.000704$$

$$C_\theta = 0.70 + 0.30(90/90) = 1.000$$

Cálculo de la Ec. (3.46). El espesor debe usarse en milímetros:  $t = 0.266$  cm = 2.660 mm.

$$P_n = (2.660)^2(1.515)(0.887)(0.927)(0.000704)(1.0)[331 - 0.61(52.165)][1 + 0.01(56.391)] = 2.9023 \text{ Ton} = 2902.341 \text{ kg}$$



Según el Art. 3.2.5.1 para almas no reforzadas,  $\Omega_w = 1.85$ . Por lo tanto,  
 $P_n/\Omega_w = 2902.341/1.85 = 1568.833 \text{ kg} > 380.638 \text{ kg}$ , OK.

### B. Apoyos Interiores

En el primer apoyo interior la fuerza de aplastamiento esta dada por  $P = 1107.206 \text{ kg}$ . En este punto coinciden los perfiles 6EP12-6x2 y 6EP16-6x2, por lo que la resistencia total será la suma de las resistencias individuales. En este punto se presenta la condición IUP, por lo que la Tabla 3.2 establece el uso de la Ec. (3.49) para calcular  $P_n$ .

Perfil: 6EP12-6x2:

La aplicabilidad de la Tabla 3.2 se estableció anteriormente para este perfil.

Como  $N/t < 60$ , el Art. 3.2.5.1 no permite cambiar  $[1 + 0.007(N/t)]$  por  $[0.75 + 0.011(N/t)]$  en la Ec. (3.49).

$$C_2 = 1.06 - 0.06(1.489) = 0.971$$

$$P_n = (2.660)^2(1.515)(0.887)(0.971)(0.000704)(1.0)[538 - 0.74(52.165)][1 + 0.007(56.391)] = 4.526 \text{ Ton} = 4525.677 \text{ kg}$$

Perfil 6EP16-6x2:

Revisión de la aplicabilidad de la Tabla 3.2:

$$h/t = 92.789 < 200, \text{ OK}$$

$$N/t = 15.000/0.152 = 98.684 < 210, \text{ OK}$$

$$N/h = 15.000/14.104 = 1.063 < 3.5, \text{ OK}$$

$$R/t = 0.396/0.152 = 2.605 < 6, \text{ OK}$$

Como  $N/t > 60$ , el Art. 3.2.5.1 permite cambiar  $[1 + 0.007(N/t)]$  por  $[0.75 + 0.011(N/t)]$  en la Ec. (3.49).

Por lo tanto, la Tabla 3.2 es aplicable en este caso.

$$C_2 = 1.06 - 0.06(2.605) = 0.904$$

$$t = 0.152 \text{ cm} = 1.520 \text{ mm}$$

$$P_n = (1.520)^2(1.515)(0.887)(0.904)(0.000704)(1.0)[538 - 0.74(92.789)][0.75 + 0.011(98.684)] = 1.702 \text{ Ton} = 1701.616 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la suma de resistencias será:  $P_n = 4525.677 + 1701.616 = 6227.293$  kg

Para perfiles Z empalmados, el Art. 3.2.5.1 establece que  $\Omega_w = 1.80$ .

$P_n/\Omega_w = 6227.293/1.80 = 3459.607$  kg > 1107.206 kg, OK.

- En el apoyo central la fuerza de aplastamiento está dada por:  $P = 898.304$  kg. Al igual que en el primer apoyo interior, en este punto existe la condición de carga IUP, por lo que la Ec. (3.49) es aplicable. En este punto coinciden dos perfiles 6EP16-6x2, por lo que la suma de resistencias será:

$P_n = 2(1701.616) = 3403.232$  kg

$P_n/\Omega_w = 3403.232/1.80 = 1890.684$  kg > 898.304 kg, OK

## 6. Diseño por Combinación de Flexión y Aplastamiento del Alma.

Las ecuaciones de diseño para combinación de flexión y aplastamiento del alma se incluyen en el Art. 3.2.6.3. Para perfiles Z empalmados y ASD aplica la Ec. (3.60). Dicha combinación es crítica en los apoyos interiores.

### A. Primer Apoyo Interior

Los valores máximos de las resistencias requeridas en este punto están dadas por:  $M = 56.967$  Ton-cm y  $P = 1107.206$  kg. En este punto aplica la condición IUP y la Ec. (3.49) y actúa el traslape de los perfiles 6EP12-6x2 y 6EP16-6x2. Las resistencias nominales totales están dadas por la suma de las resistencias nominales individuales:  $M_{n\text{xo}} = 179.980$  Ton-cm y  $P_n = 6227.293$  kg.

El factor de seguridad está dado por  $\Omega = 1.67$ .

Ec. (3.60):  $56.967/179.980 + 1107.206/6227.293 = 0.494 < 1.67/1.67 = 1.0$ , OK

### B. Apoyo Central

Los valores máximos de las resistencias requeridas en este punto están dadas por:  $M = 37.800$  Ton-cm y  $P = 898.304$  kg. En este punto también aplica la condición IUP y la Ec. (3.49) y actúa el traslape de dos perfiles 6EP16-6x2. Las resistencias

nominales totales están dadas por la suma de las resistencias nominales individuales:  $M_{nxo} = 134.494 \text{ Ton-cm}$  y  $P_n = 3403.232 \text{ kg}$ .

Ec. (3.60):  $37.800/134.494 + 898.304/3403.232 = 0.545 < 1.67/1.67 = 1.0$ , OK

### 7. Revisión de la Condición de Succión por Viento

Debido a que durante el cálculo de M para la condición de succión por viento se presentaron cambios en el sentido del momento, el patín superior será el patín de tensión. Los valores máximos de M ocurrieron cerca del centro de los claros están dados por:  $M = -6.289 \text{ Ton-cm}$  y  $-3.022 \text{ Ton-cm}$  para los claros extremos e interiores, respectivamente.

La ecuación de diseño para cuando el patín de tensión se encuentra atornillado a la lámina de cubierta está dada en el Art. 3.2.7.1. En este caso, para perfiles Z continuos,  $R = 0.70$ . El factor de resistencia está dado por  $\Omega_b = 1.67$

#### A. Cerca del Centro de Claros Extremos

Actúa el perfil 6EP12-6x2 ( $S_e = 32.081 \text{ cm}^3$ ). Por lo tanto:

Ec. (3.62):  $M_n = 0.70(3514)(32.081) = 78.913 \text{ Ton-cm}$

$M_n/\Omega_b = 78.913/1.67 = 47.253 \text{ Ton-cm} > 6.289 \text{ Ton-cm}$ , OK.

#### B. Cerca del Centro de Claros Interiores

Actúa el perfil 6EP16-6x2 ( $S_e = 19.137 \text{ cm}^3$ ). Por lo tanto:

Ec. (3.62):  $M_n = 0.70(3514)(19.137) = 47.073 \text{ Ton-cm}$

$M_n/\Omega_b = 47.073/1.67 = 28.187 \text{ Ton-cm} > 3.022 \text{ Ton-cm}$ , OK.

## 8. Cálculo de Fuerzas de Anclaje

Para polines Z con claros múltiples con puntos de restricción en los apoyos debe usarse la Ec. (3.66) dada en el Art. 3.2.8.1. Se consideran anclajes en cada quinto polín.

$$\theta = \tan^{-1}(5/100) = 2.862^\circ$$

$$b = 5.00 \text{ cm}$$

$$d = 15.20 \text{ cm}$$

$$L = 550 \text{ cm}$$

$$t = 0.266 \text{ cm y } 0.152 \text{ cm}$$

$$W = nL(w_D + w_{Lr}) = 5(550)(44.00 + 132.00) = 4840.00 \text{ kg}$$

### A. Condición de Carga Gravitacional

#### Claro extremo:

$$t = 0.266 \text{ cm}$$

$$\text{Ec. (3.66): } P_L = C_{tr} \left\{ \frac{((0.053)(5)^{1.88}(550)^{0.13}(\cos 2.862^\circ))}{((5)^{0.95}(15.20)^{1.07}(0.266)^{0.94})} - \sin 2.862^\circ \right\} (4840.00) = 249.139 C_{tr}$$

#### Claro interior:

$$t = 0.152 \text{ cm}$$

$$\text{Ec. (3.66): } P_L = C_{tr} \left\{ \frac{((0.053)(5)^{1.88}(550)^{0.13}(\cos 2.862^\circ))}{((5)^{0.95}(15.20)^{1.07}(0.152)^{0.94})} - \sin 2.862^\circ \right\} (4840.00) = 588.880 C_{tr}$$

El Art. 3.2.8.1 establece los valores de  $C_{tr}$  es función de la ubicación de los apoyos:

Para apoyos extremos:  $C_{tr} = 0.63$ . Por lo tanto:

$$P_L = 249.139(0.63) = 156.958 \text{ kg}$$

Para primer apoyo interno:  $C_{tr} = 0.87$ . Se promedia la contribución de polines adyacentes:

$$P_L = 0.87(249.139 + 588.880)/2 = 364.538 \text{ kg}$$

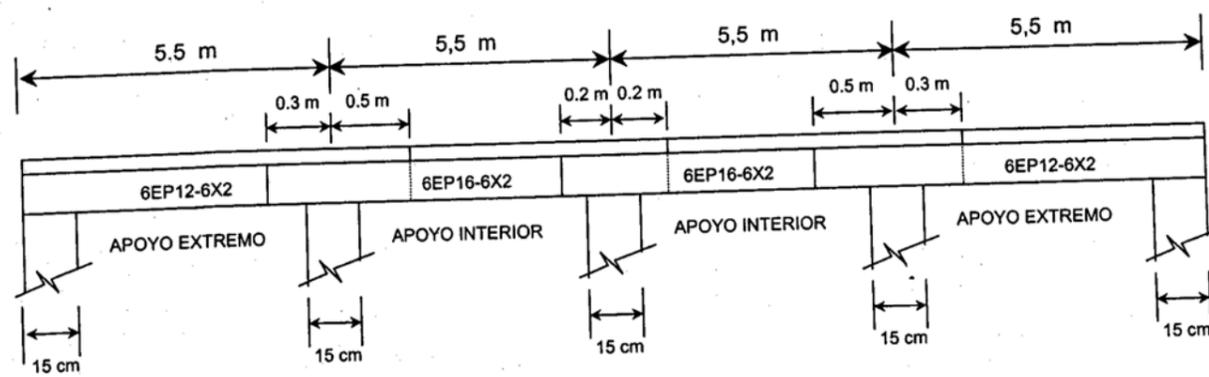
Para apoyo central:  $C_{tr} = 0.81$ . Se promedia la contribución de polines adyacentes:

$$P_L = 0.81(588.880 + 588.880)/2 = 476.993 \text{ kg}$$

### B. Condición de Succión por Viento:

$W = nL(W_D - W_w) = 5(5.50)(44.00 - 88.00) = -990.00 \text{ kg} < 4840.00 \text{ kg}$ , por lo que controla el anclaje para carga gravitacional.

### Diseño Final:



## **4.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.**

### **4.1 Conclusiones:**

El presente trabajo de disertación, así como el desarrollo de los ejemplos numéricos del mismo, permitió reconocer ciertas características importantes de los perfiles Z laminados en frío usados como miembros anclados a lámina corrugada. Las conclusiones y recomendaciones se presentan a continuación:

Si se cuida la relación de longitud de traslape con respecto a la longitud del apoyo al punto de inflexión se evitarán los problemas de pandeo latero-torsional, ya que esta zona se considera como voladizo con un extremo empotrado por la acción del traslape y un extremo libre en el punto de inflexión.

Para pendientes menores al 10%, la flexión biaxial es despreciable, por lo que el análisis se efectuó únicamente con respecto al eje x y se consideran los momentos flexionantes despreciables con respecto al eje y.

Si al realizar la revisión de los estados límites de servicio del perfil, no pasa uno de ellos, y todas las anteriores revisiones cumple satisfactoriamente, entonces se podrá seleccionar el siguiente perfil de mayor espesor, manteniendo el peralte y obviar las revisiones anteriormente realizadas tomándolas como satisfactorias.

Durante el desarrollo de la presente, se procuró involucrar todos los pasos y ecuaciones necesarias para que el lector, tenga las herramientas esenciales para el diseño de perfiles antes citados.

Para fines de apoyo y facilitar la revisión de todos los límites de servicio del perfil, se presentan del ANEXO I al ANEXO IV, una serie de perfiles agrupados por fabricantes, en las que se mencionan las propiedades más relevantes de los perfiles "Z" de fabricación nacional.

#### **4.2 Sugerencias:**

Para la revisión aplastamiento en el alma se recomienda longitudes de contacto grandes, si existen cortantes considerables.

Se recomiendan claros no muy largos entre apoyos, ya que los momentos están directamente relacionados con el cuadrado de la longitud entre apoyos, lo que arrojaría perfiles muy aperaltados y con problemas de aplastamiento en las almas. Se recomienda hacer la selección inicial con perfiles de igual peralte o si durante el diseño se requiere realizar algún cambio de perfil, conservar el mismo peralte de la selección inicial, buscando hasta donde sea posible el de menor peso (kg/m).

Para diseños con pendientes menores al 10 % se recomienda colocar los perfiles pendiente arriba como ayuda a la fuerza de anclaje; si se realizará un diseño con pendientes mayores al 10 % se recomienda la colocación de perfiles encontrados, revisando flexión biaxial y soportes laterales.

Si se tuviesen problemas de pandeo local o pandeo latero-torsional en la región del final del traslape al punto de inflexión (voladizo), entonces se recomiendan apoyos laterales en dichas regiones, (previo diseño) lo cual disminuye los cortantes y evita el pandeo.

# **A N E X O I.**

**Tablas y Formulas de Propiedades Geométricas No  
Reducidas de Perfiles Z.**

TABLA No. 1  
**PROPIEDADES DE LA SECCIÓN NO REDUCIDA DE PERFILES "Z" FABRICADOS POR PROLAMSA**  
 $F_y = 3514.00 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $E = 2073000.00 \text{ Kg/cm}^2$

ID	PESO Kg/m	H mm	B mm	D mm	t mm	R mm	AREA cm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
12EP10-12x3½	14,40	304,00	89,00	25,00	3,42	3,96	17,394	2327,503	153,1252	247,1250	28,3108
12EP12-12x3½	11,10	304,00	89,00	25,00	2,66	3,96	13,627	1837,584	120,8937	198,8280	22,6791
12EP14-12x3½	8,00	304,00	89,00	25,00	1,90	3,96	9,803	1332,179	87,6434	146,8450	16,6775
10EP10-10x2¾	11,22	254,00	69,00	19,00	3,42	3,96	13,905	1261,039	99,2944	107,8090	16,0215
10EP12-10x2¾	8,80	254,00	69,00	19,00	2,66	3,96	10,913	999,475	78,6988	87,6950	12,9592
10EP14-10x2¾	6,34	254,00	69,00	19,00	1,90	3,96	7,865	727,343	57,2711	65,4600	9,6194
10EP16-10x2¾	5,10	254,00	69,00	19,00	1,52	3,96	6,320	587,276	46,2422	53,5190	7,8428
9EP10-9x2¾	10,52	228,00	69,00	19,00	3,42	3,96	13,016	973,302	85,3774	107,8090	16,0215
9EP12-9x2¾	8,26	228,00	69,00	19,00	2,66	3,96	10,222	772,308	67,7463	87,6950	12,9592
9EP14-9x2¾	5,96	228,00	69,00	19,00	1,90	3,96	7,371	562,663	49,3564	65,4600	9,6194
9EP16-9x2¾	4,79	228,00	69,00	19,00	1,52	3,96	5,925	454,563	39,8739	53,5190	7,8428
8EP10-8x2¾	9,82	203,00	69,00	19,00	3,42	3,96	12,161	738,175	72,7266	107,8090	16,0215
8EP12-8x2¾	7,72	203,00	69,00	19,00	2,66	3,96	9,557	586,502	57,7834	87,6950	12,9592
8EP14-8x2¾	5,57	203,00	69,00	19,00	1,90	3,96	6,896	427,845	42,1522	65,4600	9,6194
8EP16-8x2¾	4,48	203,00	69,00	19,00	1,52	3,96	5,545	345,865	34,0754	53,5190	7,8428
7EP10-7x2¾	9,12	177,00	69,00	19,00	3,42	3,96	11,272	533,935	60,3316	107,8090	16,0215
7EP12-7x2¾	7,17	177,00	69,00	19,00	2,66	3,96	8,865	424,929	48,0146	87,6950	12,9592
7EP14-7x2¾	5,18	177,00	69,00	19,00	1,90	3,96	6,402	310,483	35,0828	65,4600	9,6194
7EP16-7x2¾	4,17	177,00	69,00	19,00	1,52	3,96	5,150	251,193	28,3834	53,5190	7,8428
6EP10-6x2	7,38	152,00	50,00	19,00	3,42	3,96	9,117	301,806	39,7113	44,9510	9,3086
6EP12-6x2	5,82	152,00	50,00	19,00	2,66	3,96	7,189	241,509	31,7775	37,0780	7,6182
6EP14-6x2	4,21	152,00	50,00	19,00	1,90	3,96	5,205	177,406	23,3429	28,0520	5,7191
6EP16-6x2	3,39	152,00	50,00	19,00	1,52	3,96	4,192	143,902	18,9345	23,0860	4,6885
5EP10-5x2	6,68	127,00	50,00	19,00	3,42	3,96	8,262	196,072	30,8775	44,9510	9,3086
5EP12-5x2	5,27	127,00	50,00	19,00	2,66	3,96	6,524	157,373	24,7831	37,0780	7,6182
5EP14-5x2	3,82	127,00	50,00	19,00	1,90	3,96	4,730	115,943	18,2587	28,0520	5,7191
5EP16-5x2	3,08	127,00	50,00	19,00	1,52	3,96	3,812	94,183	14,8320	23,0860	4,6885
4EP10-4x2	5,98	101,00	50,00	19,00	3,42	3,96	7,373	113,47	22,4693	44,9510	9,3086
4EP12-4x2	4,73	101,00	50,00	19,00	2,66	3,96	5,833	91,478	18,1145	37,0780	7,6182
4EP14-4x2	3,44	101,00	50,00	19,00	1,90	3,96	4,236	67,688	13,4036	28,0520	5,7191
4EP16-4x2	2,77	101,00	50,00	19,00	1,52	3,96	3,417	55,102	10,9113	23,0860	4,6885
4EP10-4x1½	5,17	101,00	38,10	19,00	3,42	3,96	6,559	94,094	18,6325	21,6290	5,9437
4EP12-4x1½	3,98	101,00	38,10	19,00	2,66	3,96	5,200	76,172	15,0836	18,1120	4,9258
4EP14-4x1½	2,98	101,00	38,10	19,00	1,90	3,96	3,784	56,585	11,2050	13,9030	3,7424
4EP16-4x1½	2,41	101,00	38,10	19,00	1,52	3,96	3,055	46,152	9,1390	11,5220	3,0857
3EP12-3x1½	3,60	76,00	38,00	19,00	2,66	3,96	4,529	38,16	10,0421	17,9880	4,9054
3EP14-3x1½	2,40	76,00	38,00	19,00	1,90	3,96	3,305	28,558	7,5153	13,8100	3,7274

TABLA No. 2  
**PROPIEDADES DE LA SECCIÓN NO REDUCIDA DE PERFILES "Z" CONTENIDOS EN EL REGLAMENTO DEL IMCA**

$F_y = 3514.00 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $E = 2073000.00 \text{ Kg/cm}^2$

ID	PESO Kg/m	H mm	B mm	D mm	t mm	R mm	AREA cm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
305 x 10	13,74	304,80	88,90	25,40	3,42	4,80	17,392	2333,504	153,1171	246,4990	28,2715
305 x 12	10,66	304,80	88,90	22,90	2,66	4,80	13,492	1820,446	119,4518	188,4380	21,5186
254 x 10	12,37	254,00	88,90	25,40	3,42	4,80	15,655	1514,82	119,2772	246,4990	28,2715
254 x 12	9,59	254,00	88,90	22,90	2,66	4,80	12,141	1183,759	93,2094	188,4380	21,5186
254 x 14	6,82	254,00	88,90	17,80	1,90	4,80	8,627	850,373	66,9585	127,6870	14,5181
229 x 10	11,34	228,60	82,60	25,40	3,42	4,80	14,355	1128,036	98,6908	202,4750	25,0309
229 x 12	8,68	228,60	82,60	20,30	2,66	4,80	10,992	870,618	76,1696	145,9170	17,9546
229 x 14	6,24	228,60	82,60	17,80	1,90	4,80	7,905	635,076	55,5622	104,6630	12,8185
229 x 16	4,96	228,60	82,60	15,20	1,52	4,80	6,273	505,151	44,1952	80,1260	9,7906
203 x 10	10,17	203,20	76,20	25,40	3,42	4,80	13,049	811,541	79,8761	163,3140	21,9243
203 x 12	7,88	203,20	76,20	20,30	2,66	4,80	9,976	627,016	61,7142	117,3350	15,6718
203 x 14	5,67	203,20	76,20	17,80	1,90	4,80	7,179	456,689	45,1466	84,2420	11,1950
203 x 16	4,50	203,20	76,20	15,20	1,52	4,80	5,692	364,923	35,9176	64,3570	8,5309
178 x 10	9,01	177,80	69,90	20,30	3,42	4,80	11,400	544,664	61,2670	114,4770	16,7879
178 x 12	7,08	177,80	69,90	17,80	2,66	4,80	8,965	433,358	48,7467	93,0260	13,5666
178 x 14	5,10	177,80	69,90	15,20	1,90	4,80	6,457	318,198	35,7928	66,8680	9,6980
178 x 16	4,04	177,80	69,90	12,70	1,52	4,80	5,115	253,268	28,4891	50,9690	7,3719
152 x 10	7,84	152,40	63,50	17,80	3,42	4,80	9,923	349,338	45,8449	82,0350	13,2764
152 x 12	6,17	152,40	63,50	15,20	2,66	4,80	7,816	278,898	36,6008	67,0210	10,7803
152 x 14	4,53	152,40	63,50	12,70	1,90	4,80	5,731	209,027	27,4314	51,7940	8,2804
152 x 16	3,58	152,40	63,50	10,20	1,52	4,80	4,534	166,52	21,8530	39,3810	6,2769
127 x 10	6,47	127,00	50,80	17,80	3,42	4,80	8,186	194,49	30,6283	44,4800	9,0609
127 x 12	5,11	127,00	50,80	15,20	2,66	4,80	6,465	156,146	24,5899	36,7150	7,4217
127 x 14	3,69	127,00	50,80	12,70	1,90	4,80	4,667	116,098	18,2831	26,4240	5,3007
127 x 16	2,91	127,00	50,80	10,20	1,52	4,80	3,686	92,456	14,5600	19,9200	3,9808
127 x 18	2,33	127,00	50,80	7,60	1,21	4,80	2,952	74,542	11,7389	16,2530	3,2380
102 x 10	5,78	101,60	50,80	17,80	3,42	4,80	7,317	114,258	22,4917	44,4800	9,0609
102 x 12	4,57	101,60	50,80	15,20	2,66	4,80	5,789	92,129	18,1356	36,7150	7,4217
102 x 14	3,31	101,60	50,80	12,70	1,90	4,80	4,185	69,079	13,5982	26,4240	5,3007
102 x 16	2,61	101,60	50,80	10,20	1,52	4,80	3,300	55,204	10,8669	19,9200	3,9808
102 x 18	2,09	101,60	50,80	7,60	1,21	4,80	2,645	44,582	8,7760	16,2530	3,2380
89 x 10	5,44	88,90	50,80	17,80	3,42	4,80	6,883	83,172	18,7114	44,4800	9,0609
89 x 12	4,31	88,90	50,80	15,20	2,66	4,80	5,451	67,262	15,1321	36,7150	7,4217
89 x 14	3,12	88,90	50,80	12,70	1,90	4,80	3,943	50,731	11,4130	26,4240	5,3007
89 x 16	2,45	88,90	50,80	10,20	1,52	4,80	3,107	40,649	9,1449	19,9200	3,9808
76 x 12	3,77	88,90	50,80	12,70	1,21	4,80	2,491	32,864	7,3935	16,2530	3,2380
76 x 14	2,66	88,90	50,80	10,20	1,90	4,80	1,778	25,764	5,9680	12,8185	2,3875
76 x 16	2,15	88,90	50,80	7,60	1,52	4,80	1,368	19,920	4,5309	9,7906	1,7906
76 x 18	1,68	88,90	50,80	5,10	1,21	4,80	1,125	15,671	3,6008	7,4217	1,3719

A3.4 Perfiles Z (con Simetría con Respecto a un Punto) Con y Sin Labios Atiesadores (Figs. A.14 y A.15)

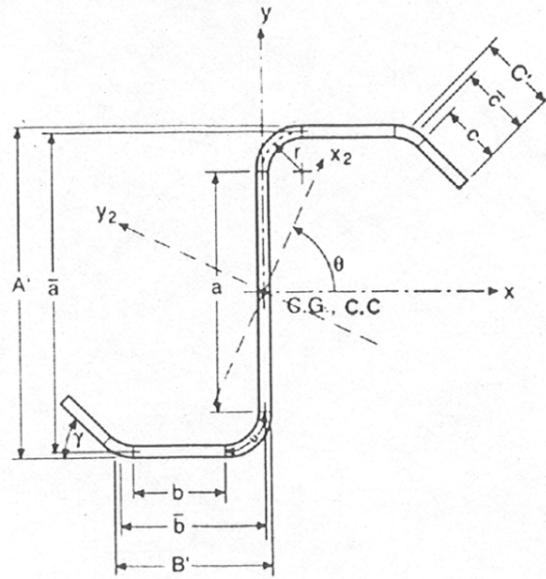


Fig. A.14 Perfil Z con labios atiesadores<sup>(4)</sup>

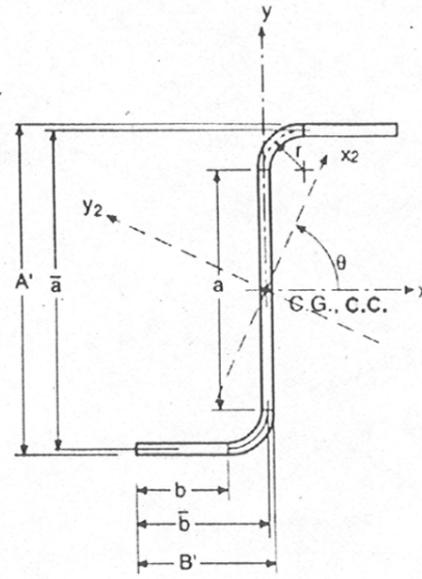


Fig. A.15 Perfil Z sin labios atiesadores<sup>(4)</sup>

1. Parámetros Básicos

$$a = A' - (2r + t) \quad (\text{A.76})$$

$$\bar{a} = A' - t \quad (\text{A.77})$$

$$b = B' - [r + t/2 + \alpha(r + t/2)\tan(\gamma/2)] \quad (\text{A.78})$$

$$\bar{b} = B' - [t/2 + (\alpha t/2)\tan(\gamma/2)] \quad (\text{A.79})$$

$$c = \alpha[C' - (r + t/2)\tan(\gamma/2)] \quad (\text{A.80})$$

$$\bar{c} = \alpha[C' - (t/2)\tan(\gamma/2)] \quad (\text{A.81})$$

$$u_1 = \pi r/2 = 1.57r \quad (\text{A.82})$$

$$u_2 = \gamma r, \text{ donde } \gamma \text{ está dado en radianes} \quad (\text{A.83})$$

$$\alpha = 1.0 \text{ para perfiles con labios atiesadores}$$

$$\alpha = 0 \text{ para perfiles sin labios atiesadores}$$

2. Area de la Sección

$$A = t[a + 2(b + u_1) + 2\alpha(c + u_2)] \quad (\text{A.84})$$

3. Momento de Inercia con Respecto al Eje x

$$I_x = 2t[0.0417a^3 + b(a/2 + r)^2 + u_1(a/2 + 0.637r)^2 + 0.149r^3 + \alpha\xi] \quad (\text{A.85})$$

donde

$$\xi = \left( \frac{\gamma + \operatorname{sen} \gamma \cos \gamma}{2} - \frac{\operatorname{sen}^2 \gamma}{\gamma} \right) r^3 + u_2 \left( \frac{a}{2} + \frac{r \operatorname{sen} \gamma}{\gamma} \right)^2 + \frac{c^3 \operatorname{sen}^2 \gamma}{12} + c \left( \frac{a}{2} + r \cos \gamma - \frac{c}{2} \operatorname{sen} \gamma \right)^2$$

4. Momento de Inercia con Respecto al Eje y

$$I_y = 2t \left[ b(b/2 + r)^2 + \frac{b^3}{12} + 0.356r^3 + \alpha \xi \right] \quad (\text{A.86})$$

$$\text{donde } \xi = c \left[ b + r(1 + \operatorname{sen} \gamma) + \frac{c}{2} \cos \gamma \right]^2 + \frac{c^3 \cos^2 \gamma}{12} + u_2 \left[ b + r + \frac{r(1 - \cos \gamma)}{\gamma} \right]^2 + \left[ \frac{\gamma - \operatorname{sen} \gamma \cos \gamma}{2} - \frac{(1 - \cos \gamma)^2}{\gamma} \right] r^3$$

5. Producto de Inercia (ver nota abajo):

$$I_{xy} = 2t \left[ b(a/2 + r)(b/2 + r) + 0.50r^3 + 0.285ar^2 + \alpha \xi \right] \quad (\text{A.87})$$

donde

$$\xi = c \left[ b + r(1 + \operatorname{sen} \gamma) + \frac{c}{2} \cos \gamma \right] \left[ \frac{a}{2} + r \cos \gamma - \frac{c}{2} \operatorname{sen} \gamma \right] + \left[ \frac{\operatorname{sen}^2 \gamma}{2} + \frac{\operatorname{sen} \gamma (\cos \gamma - 1)}{\gamma} \right] r^3 - \frac{c^3 \operatorname{sen} \gamma \cos \gamma}{12} + u_2 \left[ b + r + \frac{r(1 - \cos \gamma)}{\gamma} \right] \left[ \frac{a}{2} + \frac{r \operatorname{sen} \gamma}{\gamma} \right]$$

6. Angulo entre el Eje x y el Eje Principal Menor, en Radianes (ver nota abajo):

$$\theta = \frac{\pi}{2} + 0.50 \tan^{-1} \left( \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x} \right) \quad (\text{A.88})$$

7. Momento de Inercia con Respecto al Eje  $x_2$

$$I_{x_2} = I_x \cos^2 \theta + I_y \operatorname{sen}^2 \theta - 2I_{xy} \operatorname{sen} \theta \cos \theta \quad (\text{A.89})$$

8. Momento de Inercia con Respecto al Eje  $y_2$

$$I_{y_2} = I_x \operatorname{sen}^2 \theta + I_y \cos^2 \theta + 2I_{xy} \operatorname{sen} \theta \cos \theta \quad (\text{A.90})$$

Nota: Los signos algebraicos en las Ecs. A.87 a A.90 son correctos para la sección orientada con respecto a los ejes como se muestra en las Figs. A.14 y A.15.

9. Radio de Giro con Respecto al Eje  $x_2$  (Radio de Giro Mínimo):  $r_{x_2} = \sqrt{I_{x_2} / A}$  (A.91)

## 10. Constante Torsionante de St. Venant

$$J = \frac{t^3}{3} [a + 2(b + u_1) + 2\alpha(c + u_2)] \quad (\text{A.92})$$

## 11. Constante de Alabeo

$$C_w = \frac{t}{12} \left[ \frac{\bar{a}^2 \bar{b}^3 (2\bar{a} + \bar{b}) + \alpha \xi}{\bar{a} + 2(\bar{b} + \alpha \bar{c})} \right] \quad (\text{A.93})$$

donde

$$\xi = \bar{b}^2 (4\bar{c}^4 + 16\bar{b}\bar{c}^3 + 6\bar{a}^3\bar{c} + 4\bar{a}^2\bar{b}\bar{c} + 8\bar{a}\bar{c}^3) + 6\bar{a}\bar{b}\bar{c}^2 (\bar{a} + \bar{b})(2\bar{b} \sin \gamma + \bar{a} \cos \gamma) + 4\bar{a}\bar{b}\bar{c}^3 (2\bar{a} + 4\bar{b} + \bar{c}) \sin \gamma \cos \gamma + \bar{c}^3 (2\bar{a}^3 + 4\bar{a}^2\bar{b} - 8\bar{a}\bar{b}^2 + \bar{a}^2\bar{c} - 16\bar{b}^3 - 4\bar{b}^2\bar{c}) \cos^2 \gamma$$

## A3.5 Cálculo de Radios de Giro y Módulos de Sección

Excluidas de las ecuaciones de propiedades geométricas dadas con anterioridad están las ecuaciones de radio de giro (excepto para el radio de giro mínimo de perfiles Z) y de módulos de sección. Dichas ecuaciones son de carácter general y están dadas por las siguientes expresiones:

1. Radio de Giro con Respecto al Eje  $i$ :  $r_i = \sqrt{I_i / A}$

Donde  $I_i = I_x, I_y, I_{x2}$  o  $I_{y2}$ , según sea el caso.

2. Módulo de Sección con Respecto al Eje  $i$ :  $S_i = I_i / d$

Donde  $d$  es la distancia del eje centroidal a la fibra extrema en la dirección perpendicular al eje  $i$ . Por ejemplo, si se requiere calcular el módulo de sección con respecto al eje  $x$ ,  $S_x$ , (o sea,  $i = x$ ), el valor de  $d$  se obtiene calculando la distancia desde el centroide hasta la fibra extrema en la dirección del eje  $y$ . De la misma manera, para calcular  $S_y$  (o sea,  $i = y$ ), el valor de  $d$  se obtiene calculando la distancia desde el centroide a la fibra extrema en la dirección del eje  $x$ . Cuando la determinación de la distancia no pueda obtenerse por simple inspección, se pueden usar las ecuaciones para calcular las distancias desde el centroide hasta la línea central de elementos extremos que fueron dadas con anterioridad. Para obtener la distancia a la fibra extrema solo es necesario sumar la mitad del espesor del perfil al valor obtenido por dichas ecuaciones.

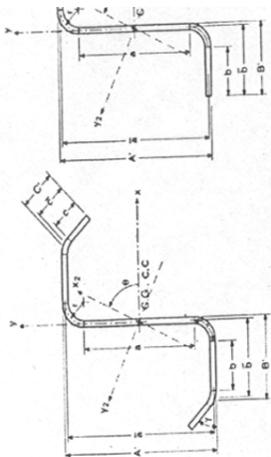
Cabe mencionar que las ecuaciones dadas aquí pueden ser usadas para preparar tablas de las propiedades geométricas requeridas en diseño de los perfiles laminados en frío. El Manual de Diseño del AISI 1996 contiene tablas de propiedades para perfiles canal, sombrero, Z y angulares, con y sin labios atiesadores. Sin embargo, es importante aclarar que dichos perfiles no son perfiles estándar. Como se menciona en el Art. 1.5, en la actualidad no se ha establecido la estandarización formal de perfiles estructurales de acero laminado en frío, como es el caso de los perfiles de acero laminado en caliente, donde existe un acuerdo formal entre diseñadores y fabricantes para definir los diferentes tipos de perfiles disponibles y las tablas de propiedades correspondientes se consignan en las Especificaciones del AISC. La falta de estandarización no necesariamente es un aspecto negativo, ya que una de las ventajas de los perfiles laminados en frío es la gran versatilidad de configuraciones geométricas que pueden formarse a partir de láminas delgadas de acero. La estandarización tiende a restringir dicha versatilidad. Por consiguiente, la preparación de tablas de propiedades y otras ayudas de diseño gráficas y/o tabulares se ha dejado bajo la responsabilidad de los fabricantes de perfiles, en función de sus propios diseños de configuraciones.

# **A N E X O II.**

**Tablas de Diseño con Respecto al Eje Fuerte de Vigas  
a Base de Secciones "Z" con Labios Atesados.**

ANEXO B.

Tabla No.1 Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte de Vigas a Base de Perfiles Z de PROLAMSA.

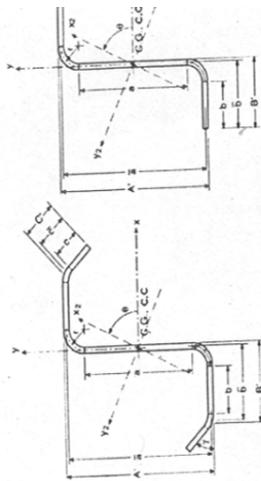


$F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$

PERFIL	A'	B'	C'	t	R	$I_x$	$S_{ex}$	$M_{nx}$	$M_{ax}$	$M_{lux}$	$V_n$	$V_a$	$V_u$
	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg-cm	Kg-cm	Kg-cm	Kg	Kg	Kg
12EP10-12X3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	30,400	8,900	2,500	0,342	0,396	2304,556	149,632	525805,193	314853,409	499514,933	13855,08	8296,456	12469
12EP12-12X3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	30,400	8,900	2,500	0,266	0,396	1743,468	110,518	388361,253	232551,649	368943,191	6484,842	3883,139	5836,
12EP14-12X3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	30,400	8,900	2,500	0,190	0,396	1176,723	70,841	248935,197	149062,992	236488,437	2350,99	1407,779	2115,
10EP10-10X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	25,400	6,900	1,900	0,342	0,396	1270,025	100,002	351406,866	210423,273	333836,523	15453,71	9253,720	1390,
10EP12-10X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	25,400	6,900	1,900	0,266	0,396	986,672	76,677	269443,842	161343,618	255971,650	7831,586	4689,572	7048
10EP14-10X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	25,400	6,900	1,900	0,190	0,396	676,677	50,931	178973,027	107169,478	170024,376	2836,171	1698,306	2552
10EP16-10X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	25,400	6,900	1,900	0,152	0,396	512,210	36,634	128733,106	77085,692	122296,451	1447,579	866,814	1302
9EP10-9X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	22,800	6,900	1,900	0,342	0,396	982,395	86,175	302818,950	181328,713	287678,003	15453,71	9253,720	1390
9EP12-9X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	22,800	6,900	1,900	0,266	0,396	764,058	66,104	232290,081	139095,857	220675,577	8779,72	5257,317	7901
9EP14-9X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	22,800	6,900	1,900	0,190	0,396	523,247	43,753	153748,225	92064,805	146060,813	3177,12	1902,467	2859
9EP16-9X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	22,800	6,900	1,900	0,152	0,396	407,585	33,140	116453,226	69732,470	110630,564	1620,989	970,652	145
8EP10-8X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	20,300	6,900	1,900	0,342	0,396	747,352	73,631	258738,329	154933,131	245801,413	14763,98	8840,704	1328
8EP12-8X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	20,300	6,900	1,900	0,266	0,396	582,096	56,525	198629,570	118939,862	188698,092	8931,294	5348,08	8038
8EP14-8X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	20,300	6,900	1,900	0,190	0,396	398,050	37,273	130976,988	78429,334	124428,139	3592,364	2151,116	3238
8EP16-8X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	20,300	6,900	1,900	0,152	0,396	319,275	29,783	104656,640	62668,647	99423,808	1832,012	1097,013	168
7EP10-7X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	17,700	6,900	1,900	0,342	0,396	543,180	61,376	215676,318	129147,496	204892,502	11698,69	7799,123	1.698
7EP12-7X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	17,700	6,900	1,900	0,266	0,396	423,964	47,183	165801,466	99282,315	157511,393	8931,294	5348,08	803
7EP14-7X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	17,700	6,900	1,900	0,190	0,396	289,451	30,979	108860,663	65186,026	103417,630	4157,475	2489,506	374
7EP16-7X2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	17,700	6,900	1,900	0,152	0,396	232,188	24,747	86960,909	52072,400	82612,863	2118,884	1268,793	190

**ANEXO B.**

**Tabla No.2 Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte de Vigas a Base de Perfiles Z de PROLAMSA.**



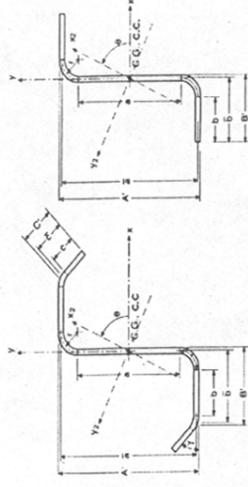
$F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$

PERFIL	A' cm	B' cm	C' cm	t cm	R cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$S_{ox}$ cm <sup>3</sup>	$M_{ix}$ Kg-cm	$M_{ax}$ Kg-cm	$M_{ux}$ Kg-cm	$V_n$ Kg	$V_a$ Kg	$V_u$ Kg
6EP10-6X2	15,200	5,000	1,900	0,342	0,396	304,102	39,984	140504,363	84134,349	133479,145	9896,003	6597,335	9896,003
6EP12-6X2	15,200	5,000	1,900	0,266	0,396	243,819	32,081	112734,131	67505,468	107097,424	7782,138	5188,092	7782,138
6EP14-6X2	15,200	5,000	1,900	0,190	0,396	179,233	23,583	82871,614	49623,721	78728,034	4556,783	2728,612	4101,10
6EP16-6X2	15,200	5,000	1,900	0,152	0,396	145,443	19,137	67248,230	40268,401	63885,818	2494,466	1493,692	2245,01
5EP10-5X2	12,700	5,000	1,900	0,342	0,396	198,519	31,238	109769,496	65730,237	104281,021	8093,321	5395,547	8093,321
5EP12-5X2	12,700	5,000	1,900	0,266	0,396	159,712	25,151	88382,188	52923,466	83963,079	6380,052	4253,368	6380,052
5EP14-5X2	12,700	5,000	1,900	0,190	0,396	117,791	18,550	65183,874	39032,260	61924,680	4556,783	2728,612	4101,10
5EP16-5X2	12,700	5,000	1,900	0,152	0,396	95,740	15,077	52981,319	31725,341	50332,253	2916,341	1746,312	2624,70
4EP10-4X2	10,100	5,000	1,900	0,342	0,396	116,040	22,958	80673,319	48307,377	76639,653	6218,532	4145,688	6218,532
4EP12-4X2	10,100	5,000	1,900	0,266	0,396	93,838	18,582	65296,210	39099,527	62031,399	4921,883	3281,255	4921,883
4EP14-4X2	10,100	5,000	1,900	0,190	0,396	69,551	13,772	48396,410	28979,886	45976,590	3576,521	2384,347	3576,521
4EP16-4X2	10,100	5,000	1,900	0,152	0,396	56,670	11,223	39436,930	23614,928	37465,083	2916,341	1746,312	2624,70
3EP12-3X1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7,600	3,800	1,900	0,266	0,396	39,003	10,264	36067,099	21597,065	34263,744	3519,797	2346,531	3519,797
3EP14-3X1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7,600	3,800	1,900	0,190	0,396	29,228	7,692	27028,205	16184,554	25676,795	2575,031	1716,687	2575,031

**ANEXO B.**

**Tabla No. 3 Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte de Vigas a Base de Perfiles Z de Manual de Construcción en Acero del IMCA.**

$F_y = 3850 \text{ kg/cm}^2$

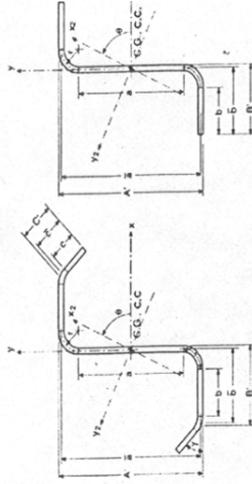


PERFIL	A'	B'	C'	t	R	$I_x$	$S_{ex}$	$M_{nx}$	$M_{ax}$	$M_{ux}$	$V_n$	$V_a$	$V_u$
	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg-cm	Kg-cm	Kg-cm	Kg	Kg	Kg
12 X 12	30,480	8,890	2,290	0,266	0,480	1682,781	105,054	404458,632	242190,797	384235,700	6504,528	3894,927	5854,075
12 X 10	30,480	8,890	2,540	0,342	0,480	2299,150	148,490	571686,450	342327,216	543102,127	13897,36	8321,775	12507,63
10 X 14	25,400	8,890	1,780	0,190	0,240	715,044	50,234	193399,241	115807,929	183729,279	2800,112	1676,714	2520,101
10 X 12	25,400	8,890	2,290	0,266	0,480	1094,322	81,567	314032,473	188043,397	298330,849	7886,618	4722,526	7097,956
10 X 10	25,400	8,890	2,540	0,342	0,480	1500,122	116,119	447059,263	267700,157	424706,300	15453,71	9253,720	13908,34
9 X 16	22,860	8,260	1,520	0,152	0,240	396,456	29,604	113975,496	68248,800	108276,721	1593,674	954,296	1434,307
9 X 14	22,860	8,260	1,780	0,190	0,240	563,617	45,587	175510,358	105096,023	166734,84	3123,398	1870,298	2811,058
9 X 12	22,860	8,260	2,030	0,266	0,480	817,693	68,257	262789,812	157359,169	249650,321	8824,095	5283,889	7941,685
9 X 10	22,860	8,260	2,540	0,342	0,480	1134,043	98,513	379276,694	227111,793	360312,859	15453,71	9253,720	13908,34
8 X 16	20,320	7,620	1,520	0,152	0,240	303,681	26,459	101867,181	60998,312	96773,822	1800,878	1078,370	1620,790
8 X 14	20,320	7,620	1,780	0,190	0,240	416,255	38,274	147355,389	88236,760	139987,62	3531,076	2114,417	3177,969
8 X 12	20,320	7,620	2,030	0,266	0,480	610,150	58,347	224636,901	134513,114	213405,056	9348,542	5597,929	8413,688
8 X 10	20,320	7,620	2,290	0,342	0,480	811,615	79,726	306943,880	183798,730	291596,686	15453,71	9253,720	13908,34
7 X 16	17,780	6,990	1,520	0,152	0,240	224,208	23,2356	89457,079	53567,113	84984,225	2070,014	1239,529	1863,012
7 X 14	17,780	6,990	1,780	0,190	0,240	294,578	31,2118	120165,264	71955,248	114157,001	4061,155	2431,829	3655,040
7 X 12	17,780	6,990	2,030	0,266	0,480	431,334	47,7244	183739,025	110023,368	174552,073	9348,542	5597,929	8413,688
7 X 10	17,780	6,990	2,030	0,342	0,480	553,658	62,2788	239773,326	143576,842	227784,660	12747,76	8498,508	12747,76
6 X 16	15,240	6,350	1,520	0,152	0,240	151,018	18,4351	70975,204	42500,122	67426,444	2433,726	1457,321	2190,354
6 X 14	15,240	6,350	1,780	0,190	0,240	195,208	24,1855	93114,233	55757,026	88458,521	4769,664	2856,086	4292,698
6 X 12	15,240	6,350	1,780	0,266	0,480	279,196	36,1424	139148,240	83322,299	132190,828	9348,542	5597,929	8413,688
6 X 10	15,240	6,350	1,780	0,342	0,480	355,617	46,669	179675,196	107589,938	170691,436	10741,11	7160,741	10741,11



**ANEXO B.**

**Tabla No. 4 Propiedades de Diseño con Respecto al eje Fuerte de Vigas a Base de Perfiles Z de Manual de Construcción en Acero del IMCA.**



$F_y = 3850 \text{ kg/cm}^2$

PERFIL	A'	B'	C'	t	R	$I_x$	$S_{ex}$	$M_{nx}$	$M_{ax}$	$M_{ux}$	$V_n$	$V_a$	$V_u$
	cm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg-cm	Kg-cm	Kg-cm	Kg	Kg	Kg
5 X 18	12,700	5,080	1,270	0,121	0,240	67,866	9,984	38440,121	23018,036	36518,115	1481,702	887,247	1333,532
5 X 16	12,700	5,080	1,270	0,152	0,240	85,075	12,588	48464,662	29020,756	46041,4293	2952,497	1767,962	2657,247
5 X 14	12,700	5,080	1,520	0,190	0,240	115,924	17,951	69112,486	41384,722	65656,8615	4769,664	2856,086	4292,698
5 X 12	12,700	5,080	1,780	0,266	0,480	158,431	24,950	96056,861	57519,078	91254,0179	6886,868	4591,245	6886,868
5 X 10	12,700	5,080	1,780	0,342	0,480	197,179	31,052	119549,480	71586,515	113572,006	8734,461	5822,974	8734,461
4 X 18	10,160	5,080	1,270	0,121	0,240	40,865	7,463	28731,684	17204,601	27295,100	1880,465	1126,027	1692,419
4 X 16	10,160	5,080	1,270	0,152	0,240	51,200	9,411	36230,933	21695,170	34419,3865	3052,585	1827,895	2747,327
4 X 14	10,160	5,080	1,520	0,190	0,240	70,033	13,545	52148,851	31226,857	49541,4081	4081,770	2721,180	4081,770
4 X 12	10,160	5,080	1,780	0,266	0,480	94,434	18,589	71569,386	42855,920	67990,917	5326,139	3550,760	5326,139
4 X 10	10,160	5,080	1,780	0,342	0,480	116,973	23,026	88650,897	53084,369	84218,3521	6727,810	4485,207	6727,810
3 1/2 X 18	8,890	5,080	1,270	0,121	0,240	30,371	6,314	24308,873	14556,211	23093,429	1934,423	1158,337	1740,980
3 1/2 X 16	8,890	5,080	1,270	0,152	0,240	38,036	7,962	30655,202	18356,408	29122,441	3052,585	1827,895	2747,327
3 1/2 X 14	8,890	5,080	1,520	0,190	0,240	52,129	11,520	44352,216	26558,213	42134,605	3524,367	2349,578	3524,367
3 1/2 X 12	8,890	5,080	1,780	0,266	0,480	69,574	15,652	60261,317	36084,621	57248,251	4545,775	3030,517	4545,775
3 1/2 X 10	8,890	5,080	1,780	0,342	0,480	85,896	19,324	74397,677	44549,507	70677,793	5724,485	3816,323	5724,485
3 X 18	7,620	4,450	1,020	0,121	0,240	19,257	4,701	18098,465	10837,404	17193,542	1934,423	1158,337	1740,980
3 X 16	7,620	4,450	1,270	0,152	0,240	26,084	6,629	25521,638	15282,418	24245,557	2400,256	1600,171	2400,256
3 X 14	7,620	4,450	1,270	0,190	0,240	32,742	8,482	32656,239	19554,634	31023,4271	2966,964	1977,976	2966,964
3 X 12	7,620	4,450	1,780	0,266	0,480	43,678	11,464	44136,951	26429,312	41930,103	3765,411	2510,274	3765,411

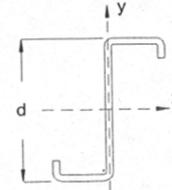
# **A N E X O III.**

Tablas de Diseño de Aplastamiento en Vigas de Secciones "Z" con Labios Atesados.

TABLA III-1

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega\omega=1.85$   
 $\Phi\omega=0.75$



FABRICANTE: *PROLAMSA*

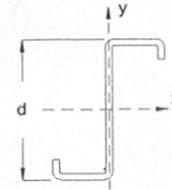
SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
6EP10	EUP	3,79	4,28	4,76	5,25	3,26	3,68	4,10	4,51
	IUP	6,14	6,71	7,28	7,85	5,28	5,77	6,26	6,75
	EDP	2,74	3,09	3,44	3,79	2,35	2,66	2,96	3,26
	IDP	7,60	7,74	7,88	8,02	6,53	6,66	6,78	6,90
6EP12	EUP	2,20	2,55	2,90	3,41	1,90	2,20	2,50	2,93
	IUP	3,67	4,10	4,52	5,12	3,16	3,52	3,89	4,40
	EDP	1,58	1,83	2,08	2,33	1,36	1,57	1,79	2,00
	IDP	4,35	4,45	4,55	4,66	3,74	3,83	3,92	4,01
6EP14	EUP	1,03	1,25	1,55	1,87	0,89	1,07	1,33	1,61
	IUP	1,83	2,11	2,50	2,94	1,57	1,82	2,15	2,53
	EDP	0,73	0,88	1,03	1,19	0,63	0,76	0,89	1,02
	IDP	1,99	2,06	2,13	2,19	1,72	1,77	1,83	1,89
6EP16	EUP	0,61	0,77	1,00	1,22	0,52	0,66	0,86	1,05
	IUP	1,14	1,37	1,70	2,04	0,98	1,17	1,46	1,75
	EDP	0,42	0,53	0,63	0,73	0,36	0,45	0,54	0,63
	IDP	1,16	1,20	1,25	1,30	0,99	1,03	1,08	1,12
5EP10	EUP	3,85	4,34	4,83	5,32	3,31	3,73	4,16	4,58
	IUP	6,21	6,78	7,36	7,93	5,34	5,83	6,33	6,82
	EDP	2,79	3,15	3,50	3,86	2,40	2,71	3,01	3,32
	IDP	7,78	7,93	8,07	8,22	6,69	6,82	6,94	7,07
5EP12	EUP	2,25	2,60	2,96	3,48	1,93	2,24	2,54	2,99
	IUP	3,72	4,16	4,59	5,19	3,20	3,57	3,95	4,46
	EDP	1,62	1,87	2,13	2,39	1,39	1,61	1,83	2,05
	IDP	4,49	4,59	4,70	4,81	3,86	3,95	4,04	4,14
5EP14	EUP	1,06	1,28	1,59	1,92	0,91	1,10	1,37	1,65
	IUP	1,86	2,15	2,55	3,00	1,60	1,85	2,19	2,58
	EDP	0,76	0,91	1,07	1,23	0,65	0,79	0,92	1,06
	IDP	2,09	2,16	2,23	2,30	1,80	1,86	1,92	1,98
5EP16	EUP	0,63	0,80	1,03	1,27	0,54	0,69	0,89	1,09
	IUP	1,17	1,40	1,75	2,09	1,01	1,21	1,50	1,80
	EDP	0,44	0,55	0,66	0,77	0,38	0,47	0,57	0,66
	IDP	1,23	1,28	1,33	1,38	1,06	1,10	1,15	1,19
4EP10	EUP	3,91	4,41	4,90	5,40	3,36	3,79	4,22	4,65
	IUP	6,27	6,86	7,44	8,02	5,40	5,90	6,40	6,90
	EDP	2,84	3,21	3,57	3,93	2,45	2,76	3,07	3,38
	IDP	7,97	8,12	8,27	8,42	6,86	6,99	7,11	7,24
4EP12	EUP	2,29	2,65	3,02	3,54	1,97	2,28	2,59	3,05
	IUP	3,78	4,21	4,65	5,26	3,25	3,63	4,00	4,53
	EDP	1,66	1,92	2,18	2,45	1,43	1,65	1,88	2,10
	IDP	4,63	4,75	4,86	4,97	3,99	4,08	4,18	4,27

TABLA III-1

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$$\Omega_w=1.85$$

$$\Phi_w=0.75$$



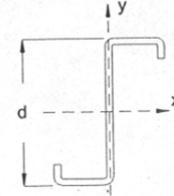
FABRICANTE: PROLAMSA

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
4EP14	EUP	1,09	1,32	1,64	1,98	0,94	1,13	1,41	1,70
	IUP	1,90	2,20	2,60	3,07	1,64	1,89	2,24	2,64
	EDP	0,78	0,95	1,11	1,27	0,67	0,82	0,96	1,10
	IDP	2,20	2,27	2,34	2,41	1,89	1,95	2,01	2,08
4EP16	EUP	0,65	0,83	1,07	1,31	0,56	0,71	0,92	1,13
	IUP	1,20	1,44	1,79	2,14	1,03	1,24	1,54	1,84
	EDP	0,46	0,58	0,69	0,81	0,40	0,50	0,60	0,69
	IDP	1,31	1,37	1,42	1,47	1,13	1,17	1,22	1,27
3EP12	EUP	2,33	2,70	3,07	3,61	2,01	2,32	2,64	3,10
	IUP	3,83	4,27	4,72	5,33	3,29	3,67	4,06	4,59
	EDP	1,70	1,97	2,24	2,51	1,46	1,69	1,92	2,15
	IDP	4,78	4,89	5,00	5,12	4,11	4,21	4,30	4,40
3EP14	EUP	1,12	1,35	1,68	2,03	0,96	1,17	1,45	1,75
	IUP	1,94	2,24	2,65	3,12	1,67	1,93	2,28	2,69
	EDP	0,81	0,98	1,15	1,32	0,70	0,84	0,99	1,13
	IDP	2,29	2,37	2,44	2,52	1,97	2,04	2,10	2,17
12EP10	EUP	3,46	3,90	4,34	4,78	2,98	3,35	3,73	4,11
	IUP	5,74	6,28	6,81	7,34	4,94	5,40	5,86	6,32
	EDP	2,42	2,73	3,04	3,35	2,08	2,35	2,62	2,88
	IDP	6,48	6,60	6,72	6,84	5,57	5,67	5,78	5,88
12EP12	EUP	1,95	2,26	2,56	3,01	1,68	1,94	2,21	2,59
	IUP	3,36	3,75	4,14	4,68	2,89	3,23	3,56	4,03
	EDP	1,34	1,55	1,76	1,97	1,15	1,33	1,52	1,70
	IDP	3,49	3,57	3,65	3,74	3,00	3,07	3,14	3,21
12EP14	EUP	0,86	1,04	1,28	1,55	0,74	0,89	1,10	1,34
	IUP	1,60	1,85	2,19	2,58	1,38	1,59	1,89	2,22
	EDP	0,56	0,68	0,80	0,92	0,49	0,59	0,69	0,79
	IDP	1,40	1,44	1,49	1,54	1,20	1,24	1,28	1,32
10EP10	EUP	3,57	4,03	4,48	4,94	3,07	3,46	3,85	4,25
	IUP	5,87	6,42	6,96	7,51	5,05	5,52	5,99	6,46
	EDP	2,53	2,85	3,17	3,49	2,17	2,45	2,73	3,01
	IDP	6,84	6,97	7,10	7,23	5,89	6,00	6,11	6,22
10EP12	EUP	2,03	2,35	2,68	3,14	1,75	2,02	2,30	2,70
	IUP	3,46	3,87	4,27	4,83	2,98	3,32	3,67	4,15
	EDP	1,42	1,64	1,87	2,09	1,22	1,41	1,61	1,80
	IDP	3,77	3,86	3,95	4,04	3,24	3,32	3,40	3,47
10EP14	EUP	0,91	1,11	1,37	1,66	0,79	0,95	1,18	1,43
	IUP	1,68	1,94	2,29	2,70	1,44	1,67	1,97	2,32
	EDP	0,62	0,75	0,88	1,01	0,53	0,64	0,75	0,86
	IDP	1,59	1,65	1,70	1,75	1,37	1,42	1,46	1,51

TABLA III-1

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega\omega=1.85$   
 $\Phi\omega=0.75$



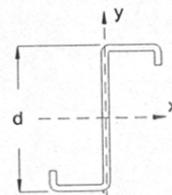
FABRICANTE: PROLAMSA

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
10EP16	EUP	0,51	0,66	0,85	1,04	0,44	0,57	0,73	0,89
	IUP	1,02	1,22	1,52	1,82	0,88	1,05	1,31	1,57
	EDP	0,34	0,42	0,50	0,59	0,29	0,36	0,43	0,51
	IDP	0,84	0,88	0,91	0,95	0,73	0,76	0,79	0,81
9EP10	EUP	3,63	4,09	4,55	5,02	3,12	3,52	3,92	4,31
	IUP	5,94	6,49	7,05	7,60	5,11	5,59	6,06	6,53
	EDP	2,58	2,91	3,24	3,57	2,22	2,50	2,79	3,07
	IDP	7,04	7,17	7,30	7,43	6,05	6,16	6,28	6,39
9EP12	EUP	2,08	2,40	2,73	3,21	1,79	2,07	2,35	2,76
	IUP	3,52	3,92	4,33	4,90	3,02	3,38	3,73	4,21
	EDP	1,46	1,69	1,92	2,15	1,25	1,45	1,65	1,85
	IDP	3,92	4,01	4,10	4,20	3,37	3,45	3,53	3,61
9EP14	EUP	0,94	1,14	1,42	1,71	0,81	0,98	1,22	1,47
	IUP	1,72	1,98	2,34	2,76	1,48	1,71	2,02	2,38
	EDP	0,65	0,78	0,92	1,05	0,56	0,67	0,79	0,90
	IDP	1,70	1,75	1,81	1,86	1,46	1,51	1,56	1,60
9EP16	EUP	0,54	0,69	0,89	1,09	0,46	0,59	0,76	0,93
	IUP	1,05	1,26	1,57	1,88	0,90	1,08	1,35	1,61
	EDP	0,36	0,45	0,54	0,62	0,31	0,38	0,46	0,54
	IDP	0,92	0,96	1,00	1,04	0,79	0,83	0,86	0,89
8EP10	EUP	3,68	4,15	4,62	5,09	3,17	3,57	3,98	4,38
	IUP	6,01	6,56	7,12	7,68	5,17	5,65	6,13	6,61
	EDP	2,63	2,97	3,30	3,64	2,26	2,55	2,84	3,13
	IDP	7,22	7,36	7,49	7,62	6,21	6,33	6,44	6,56
8EP12	EUP	2,12	2,45	2,79	3,28	1,82	2,11	2,40	2,82
	IUP	3,57	3,98	4,40	4,97	3,07	3,42	3,78	4,28
	EDP	1,50	1,74	1,97	2,21	1,29	1,49	1,70	1,90
	IDP	4,06	4,16	4,25	4,35	3,49	3,57	3,66	3,74
8EP14	EUP	0,97	1,18	1,46	1,76	0,84	1,01	1,26	1,52
	IUP	1,75	2,02	2,39	2,82	1,51	1,74	2,06	2,43
	EDP	0,67	0,81	0,95	1,10	0,58	0,70	0,82	0,94
	IDP	1,79	1,85	1,91	1,97	1,54	1,59	1,65	1,70
8EP16	EUP	0,56	0,71	0,92	1,13	0,48	0,61	0,79	0,97
	IUP	1,08	1,29	1,61	1,93	0,93	1,11	1,39	1,66
	EDP	0,38	0,47	0,57	0,66	0,33	0,41	0,49	0,57
	IDP	1,00	1,04	1,08	1,12	0,86	0,90	0,93	0,97
7EP10	EUP	3,74	4,22	4,69	5,17	3,22	3,63	4,04	4,45
	IUP	6,08	6,64	7,20	7,77	5,23	5,71	6,20	6,68
	EDP	2,69	3,03	3,37	3,71	2,31	2,61	2,90	3,19
	IDP	7,41	7,55	7,69	7,83	6,38	6,49	6,61	6,73

TABLA III-1

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega_w=1.85$   
 $\Phi_w=0.75$



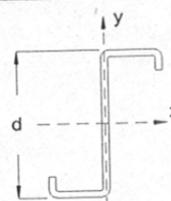
FABRICANTE: *PROLAMSA*

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
7EP12	EUP	2,16	2,50	2,85	3,34	1,86	2,15	2,45	2,88
	IUP	3,62	4,04	4,46	5,05	3,11	3,48	3,84	4,34
	EDP	1,54	1,78	2,03	2,27	1,32	1,53	1,74	1,95
	IDP	4,21	4,31	4,41	4,51	3,62	3,70	3,79	3,88
7EP14	EUP	1,00	1,21	1,51	1,82	0,86	1,04	1,29	1,56
	IUP	1,79	2,07	2,45	2,88	1,54	1,78	2,10	2,48
	EDP	0,70	0,85	0,99	1,14	0,60	0,73	0,86	0,98
	IDP	1,90	1,96	2,02	2,08	1,63	1,69	1,74	1,79
7EP16	EUP	0,58	0,74	0,96	1,18	0,50	0,64	0,83	1,01
	IUP	1,11	1,33	1,66	1,98	0,96	1,14	1,43	1,71
	EDP	0,40	0,50	0,60	0,70	0,34	0,43	0,52	0,60
	IDP	1,08	1,12	1,17	1,21	0,93	0,97	1,00	1,04

TABLA III-2

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega\omega=1.85$   
 $\Phi\omega=0.75$



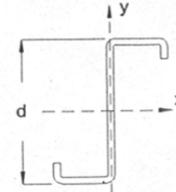
FABRICANTE: IMCA

SECCION d x cal	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
3x18	EUP	0,49	0,68	0,90	1,12	0,43	0,59	0,77	0,96
	IUP	0,83	1,07	1,37	1,66	0,72	0,92	1,17	1,43
	EDP	0,35	0,46	0,56	0,66	0,30	0,39	0,48	0,57
	IDP	0,88	0,93	0,97	1,02	0,76	0,80	0,84	0,87
3x16	EUP	0,81	1,03	1,33	1,63	0,69	0,88	1,14	1,40
	IUP	1,31	1,57	1,95	2,34	1,13	1,35	1,68	2,01
	EDP	0,58	0,72	0,87	1,01	0,50	0,62	0,74	0,87
	IDP	1,47	1,53	1,59	1,65	1,27	1,32	1,37	1,42
3x14	EUP	1,28	1,55	1,92	2,32	1,10	1,33	1,65	2,00
	IUP	2,04	2,35	2,78	3,28	1,75	2,02	2,39	2,82
	EDP	0,93	1,12	1,31	1,51	0,80	0,96	1,13	1,30
	IDP	2,40	2,48	2,56	2,64	2,06	2,13	2,20	2,27
3x12	EUP	2,22	2,57	2,92	3,43	1,91	2,21	2,51	2,95
	IUP	3,75	4,19	4,63	5,23	3,23	3,61	3,98	4,50
	EDP	1,61	1,87	2,12	2,38	1,39	1,61	1,83	2,05
	IDP	4,69	4,80	4,92	5,03	4,04	4,13	4,23	4,32
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> x18	EUP	0,48	0,67	0,88	1,09	0,42	0,57	0,75	0,94
	IUP	0,82	1,05	1,34	1,63	0,70	0,91	1,15	1,40
	EDP	0,34	0,44	0,54	0,64	0,29	0,38	0,47	0,55
	IDP	0,85	0,89	0,93	0,98	0,73	0,77	0,80	0,84
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> x16	EUP	0,79	1,01	1,30	1,60	0,68	0,87	1,12	1,37
	IUP	1,29	1,55	1,93	2,31	1,11	1,33	1,66	1,99
	EDP	0,57	0,71	0,85	0,99	0,49	0,61	0,73	0,85
	IDP	1,43	1,49	1,54	1,60	1,23	1,28	1,33	1,38
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> x14	EUP	1,26	1,53	1,89	2,29	1,09	1,31	1,63	1,97
	IUP	2,02	2,33	2,75	3,25	1,73	2,00	2,37	2,79
	EDP	0,91	1,10	1,29	1,48	0,78	0,95	1,11	1,27
	IDP	2,34	2,42	2,50	2,58	2,02	2,08	2,15	2,22
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> x12	EUP	2,19	2,54	2,89	3,39	1,89	2,19	2,48	2,92
	IUP	3,73	4,16	4,59	5,19	3,21	3,58	3,95	4,47
	EDP	1,59	1,85	2,10	2,35	1,37	1,59	1,80	2,02
	IDP	4,62	4,73	4,84	4,95	3,97	4,06	4,16	4,25
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> x10	EUP	3,79	4,27	4,75	5,24	3,26	3,67	4,09	4,50
	IUP	6,21	6,79	7,37	7,94	5,34	5,84	6,34	6,83
	EDP	2,76	3,11	3,47	3,82	2,37	2,68	2,98	3,28
	IDP	7,95	8,10	8,24	8,39	6,84	6,96	7,09	7,22
4x18	EUP	0,47	0,65	0,86	1,07	0,41	0,56	0,74	0,92
	IUP	0,81	1,04	1,32	1,61	0,69	0,89	1,14	1,38
	EDP	0,33	0,43	0,53	0,62	0,29	0,37	0,45	0,54
	IDP	0,82	0,86	0,90	0,94	0,70	0,74	0,77	0,81

TABLA III-2

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega_w=1.85$   
 $\Phi_w=0.75$



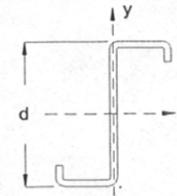
FABRICANTE: IMCA

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
4x16	EUP	0,78	0,99	1,28	1,57	0,67	0,85	1,10	1,35
	IUP	1,28	1,53	1,91	2,28	1,10	1,32	1,64	1,96
	EDP	0,55	0,69	0,83	0,97	0,48	0,59	0,71	0,83
	IDP	1,39	1,45	1,50	1,56	1,19	1,24	1,29	1,34
4x14	EUP	1,25	1,51	1,87	2,26	1,07	1,30	1,61	1,94
	IUP	2,00	2,31	2,73	3,22	1,72	1,98	2,35	2,77
	EDP	0,90	1,08	1,27	1,45	0,77	0,93	1,09	1,25
	IDP	2,30	2,37	2,45	2,52	1,97	2,04	2,10	2,17
4x12	EUP	2,18	2,52	2,86	3,37	1,87	2,17	2,46	2,89
	IUP	3,70	4,13	4,57	5,16	3,19	3,56	3,93	4,44
	EDP	1,58	1,83	2,07	2,32	1,36	1,57	1,78	2,00
	IDP	4,55	4,66	4,77	4,88	3,91	4,01	4,10	4,19
4x10	EUP	3,76	4,24	4,72	5,20	3,24	3,65	4,06	4,47
	IUP	6,18	6,76	7,33	7,91	5,32	5,81	6,31	6,80
	EDP	2,74	3,09	3,44	3,79	2,35	2,66	2,96	3,26
	IDP	7,86	8,01	8,16	8,30	6,76	6,89	7,02	7,14
5x18	EUP	0,45	0,62	0,82	1,02	0,39	0,54	0,71	0,88
	IUP	0,78	1,00	1,28	1,56	0,67	0,86	1,10	1,34
	EDP	0,31	0,40	0,50	0,59	0,27	0,35	0,43	0,51
	IDP	0,75	0,79	0,83	0,87	0,65	0,68	0,71	0,75
5x16	EUP	0,75	0,96	1,24	1,52	0,65	0,82	1,06	1,30
	IUP	1,25	1,49	1,86	2,22	1,07	1,28	1,60	1,91
	EDP	0,53	0,66	0,79	0,92	0,45	0,57	0,68	0,79
	IDP	1,31	1,36	1,41	1,47	1,12	1,17	1,22	1,26
5x14	EUP	1,21	1,47	1,82	2,20	1,04	1,26	1,57	1,89
	IUP	1,96	2,26	2,68	3,15	1,68	1,95	2,30	2,71
	EDP	0,86	1,04	1,22	1,40	0,74	0,90	1,05	1,21
	IDP	2,19	2,26	2,34	2,41	1,88	1,95	2,01	2,07
5x12	EUP	2,13	2,47	2,81	3,30	1,84	2,13	2,42	2,84
	IUP	3,65	4,08	4,50	5,09	3,14	3,51	3,87	4,38
	EDP	1,54	1,78	2,02	2,27	1,32	1,53	1,74	1,95
	IDP	4,41	4,51	4,62	4,73	3,79	3,88	3,97	4,06
5x10	EUP	3,71	4,18	4,65	5,13	3,19	3,60	4,00	4,41
	IUP	6,12	6,69	7,25	7,82	5,26	5,75	6,24	6,73
	EDP	2,69	3,03	3,37	3,72	2,31	2,61	2,90	3,20
	IDP	7,68	7,82	7,96	8,11	6,60	6,73	6,85	6,97
6x16	EUP	0,72	0,92	1,19	1,46	0,62	0,80	1,03	1,26
	IUP	1,21	1,45	1,81	2,17	1,04	1,25	1,56	1,86
	EDP	0,50	0,63	0,75	0,88	0,43	0,54	0,65	0,75
	IDP	1,22	1,27	1,32	1,37	1,05	1,10	1,14	1,18

TABLA III-2

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega_w=1.85$   
 $\Phi_w=0.75$



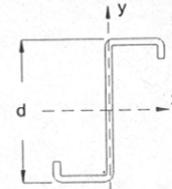
FABRICANTE: IMCA

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
6x14	EUP	1,18	1,43	1,77	2,14	1,01	1,23	1,52	1,84
	IUP	1,92	2,22	2,62	3,09	1,65	1,91	2,25	2,66
	EDP	0,83	1,01	1,18	1,35	0,72	0,86	1,01	1,16
	IDP	2,09	2,15	2,22	2,29	1,79	1,85	1,91	1,97
6x12	EUP	2,09	2,42	2,76	3,24	1,80	2,09	2,37	2,79
	IUP	3,60	4,02	4,44	5,02	3,10	3,46	3,82	4,32
	EDP	1,50	1,74	1,97	2,21	1,29	1,49	1,70	1,90
	IDP	4,27	4,37	4,47	4,57	3,67	3,76	3,85	3,93
6x10	EUP	3,65	4,12	4,59	5,05	3,14	3,54	3,95	4,35
	IUP	6,05	6,61	7,18	7,74	5,21	5,69	6,17	6,66
	EDP	2,64	2,97	3,31	3,65	2,27	2,56	2,85	3,14
	IDP	7,49	7,63	7,77	7,91	6,45	6,57	6,69	6,81
7x16	EUP	0,70	0,89	1,15	1,41	0,60	0,77	0,99	1,21
	IUP	1,18	1,42	1,76	2,11	1,02	1,22	1,52	1,82
	EDP	0,48	0,60	0,71	0,83	0,41	0,51	0,61	0,72
	IDP	1,14	1,19	1,23	1,28	0,98	1,02	1,06	1,10
7x14	EUP	1,15	1,39	1,72	2,08	0,99	1,19	1,48	1,79
	IUP	1,88	2,17	2,57	3,03	1,62	1,87	2,21	2,60
	EDP	0,80	0,97	1,13	1,30	0,69	0,83	0,98	1,12
	IDP	1,98	2,05	2,11	2,18	1,70	1,76	1,82	1,87
7x12	EUP	2,05	2,38	2,70	3,18	1,77	2,05	2,32	2,73
	IUP	3,55	3,96	4,38	4,95	3,05	3,41	3,76	4,26
	EDP	1,46	1,69	1,92	2,16	1,26	1,46	1,66	1,85
	IDP	4,13	4,23	4,32	4,42	3,55	3,64	3,72	3,80
7x10	EUP	3,60	4,06	4,52	4,98	3,10	3,49	3,89	4,28
	IUP	5,99	6,54	7,10	7,65	5,15	5,63	6,11	6,58
	EDP	2,59	2,92	3,25	3,58	2,22	2,51	2,79	3,08
	IDP	7,31	7,44	7,58	7,72	6,29	6,40	6,52	6,64
8x16	EUP	0,67	0,86	1,10	1,35	0,58	0,74	0,95	1,16
	IUP	1,15	1,38	1,71	2,05	0,99	1,18	1,47	1,77
	EDP	0,45	0,56	0,68	0,79	0,39	0,49	0,58	0,68
	IDP	1,06	1,10	1,14	1,19	0,91	0,95	0,98	1,02
8x14	EUP	1,11	1,34	1,67	2,02	0,96	1,16	1,43	1,73
	IUP	1,84	2,13	2,51	2,96	1,58	1,83	2,16	2,55
	EDP	0,77	0,93	1,09	1,25	0,66	0,80	0,94	1,07
	IDP	1,88	1,94	2,00	2,06	1,61	1,67	1,72	1,77
8x12	EUP	2,01	2,33	2,65	3,11	1,73	2,00	2,28	2,68
	IUP	3,50	3,91	4,31	4,88	3,01	3,36	3,71	4,20
	EDP	1,42	1,65	1,87	2,10	1,22	1,42	1,61	1,81
	IDP	3,99	4,08	4,18	4,27	3,43	3,51	3,59	3,67

TABLA III-2

APLASTAMIENTO DE VIGAS, Pn, TON  
SECCIONES "Z" CON LABIOS ATIESADORES

$\Omega\omega=1.85$   
 $\Phi\omega=0.75$



FABRICANTE: IMCA

SECCION d x cal.	CASO	FY= 3514 Kg/cm <sup>2</sup>				FY= 2811 Kg/cm <sup>2</sup>			
		Longitud de Contacto, N (cms)				Longitud de Contacto, N (cms)			
		5	10	15	20	5	10	15	20
8x10	EUP	3,55	4,00	4,45	4,90	3,05	3,44	3,83	4,22
	IUP	5,92	6,47	7,02	7,57	5,09	5,57	6,04	6,51
	EDP	2,54	2,86	3,18	3,51	2,18	2,46	2,74	3,02
	IDP	7,12	7,26	7,39	7,52	6,13	6,24	6,36	6,47
9x16	EUP	0,64	0,82	1,06	1,30	0,55	0,71	0,91	1,12
	IUP	1,12	1,34	1,67	2,00	0,96	1,15	1,43	1,72
	EDP	0,43	0,53	0,64	0,75	0,37	0,46	0,55	0,64
	IDP	0,97	1,01	1,05	1,09	0,84	0,87	0,91	0,94
9x14	EUP	1,08	1,30	1,62	1,95	0,93	1,12	1,39	1,68
	IUP	1,80	2,08	2,46	2,90	1,55	1,79	2,12	2,49
	EDP	0,74	0,89	1,04	1,20	0,63	0,77	0,90	1,03
	IDP	1,77	1,83	1,89	1,95	1,52	1,57	1,62	1,67
9x12	EUP	1,97	2,28	2,60	3,05	1,70	1,96	2,23	2,62
	IUP	3,45	3,85	4,25	4,81	2,97	3,31	3,66	4,13
	EDP	1,39	1,61	1,82	2,04	1,19	1,38	1,57	1,76
	IDP	3,85	3,94	4,03	4,12	3,31	3,39	3,47	3,55
9x10	EUP	3,49	3,94	4,38	4,83	3,00	3,39	3,77	4,15
	IUP	5,86	6,40	6,94	7,49	5,04	5,50	5,97	6,44
	EDP	2,49	2,80	3,12	3,44	2,14	2,41	2,68	2,96
	IDP	6,94	7,07	7,20	7,33	5,97	6,08	6,19	6,30
10x14	EUP	1,04	1,26	1,57	1,89	0,90	1,09	1,35	1,63
	IUP	1,76	2,03	2,41	2,84	1,51	1,75	2,07	2,44
	EDP	0,71	0,85	1,00	1,15	0,61	0,73	0,86	0,99
	IDP	1,67	1,72	1,78	1,83	1,43	1,48	1,53	1,57
10x12	EUP	1,93	2,24	2,54	2,99	1,66	1,92	2,19	2,57
	IUP	3,40	3,79	4,19	4,74	2,92	3,26	3,60	4,07
	EDP	1,35	1,56	1,77	1,99	1,16	1,34	1,53	1,71
	IDP	3,71	3,79	3,88	3,97	3,19	3,26	3,34	3,42
10x10	EUP	3,44	3,88	4,32	4,75	2,96	3,33	3,71	4,09
	IUP	5,79	6,33	6,87	7,40	4,98	5,44	5,91	6,37
	EDP	2,44	2,75	3,06	3,37	2,09	2,36	2,63	2,90
	IDP	6,75	6,88	7,01	7,13	5,81	5,92	6,03	6,13
12x12	EUP	1,85	2,14	2,43	2,86	1,59	1,84	2,09	2,46
	IUP	3,30	3,68	4,06	4,59	2,84	3,17	3,49	3,95
	EDP	1,27	1,47	1,67	1,88	1,09	1,27	1,44	1,61
	IDP	3,42	3,51	3,59	3,67	2,94	3,02	3,09	3,16
12x10	EUP	3,33	3,76	4,18	4,61	2,86	3,23	3,60	3,96
	IUP	5,66	6,19	6,71	7,24	4,87	5,32	5,77	6,22
	EDP	2,33	2,63	2,93	3,23	2,01	2,26	2,52	2,78
	IDP	6,39	6,50	6,62	6,74	5,49	5,59	5,70	5,80

# **A N E X O I V .**

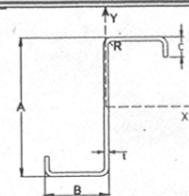
Tablas de Diseño de Combinación de Flexión y Cortante de Secciones "Z" con Labios Atiesados.

<b>TABLA I</b> <b>COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE</b> <b>SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES</b> <b>Fabricante: PROLAMSA</b>									
<b>METODO ASD</b>					<b>METODO LRFD</b>				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
12EP10-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8.30	0.00	7.18	0.00	12EP10-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	12.47	0.00	10.79	0.00
	6.22	208.26	5.39	142.02		9.35	330.40	8.10	225.31
	4.15	272.67	3.59	185.94		6.23	432.59	5.40	295.00
	2.07	304.86	1.80	207.89		3.12	483.65	2.70	329.82
	0.00	314.85	0.00	214.71		0.00	499.51	0.00	340.63
12EP12-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3.88	0.00	3.88	0.00	12EP12-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5.84	0.00	5.84	0.00
	2.91	153.82	2.91	111.81		4.38	244.03	4.38	177.38
	1.94	201.40	1.94	146.39		2.92	319.51	2.92	232.24
	0.97	225.17	0.97	163.67		1.46	357.23	1.46	259.66
	0.00	232.55	0.00	169.03		0.00	368.94	0.00	268.17
12EP14-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1.41	0.00	1.41	0.00	12EP14-12*3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2.12	0.00	2.12	0.00
	1.06	94.05	1.06	7.62		1.59	149.21	1.59	12.09
	0.70	123.14	0.70	9.98		1.06	195.37	1.06	15.83
	0.35	137.68	0.35	11.16		0.53	218.42	0.53	17.70
	0.00	142.19	0.00	11.52		0.00	225.59	0.00	18.28
10EP10-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8.84	0.00	7.18	0.00	10EP10-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	13.29	0.00	10.79	0.00
	6.63	44.19	5.39	91.83		9.97	70.10	8.10	145.69
	4.42	57.85	3.59	120.24		6.64	91.78	5.40	190.76
	2.21	64.68	1.80	134.43		3.32	102.62	2.70	213.27
	0.00	66.80	0.00	138.84		0.00	105.98	0.00	220.27
10EP12-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4.69	0.00	4.34	0.00	10EP12-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	7.05	0.00	6.53	0.00
	3.52	106.72	3.26	72.82		5.29	169.31	4.90	115.53
	2.34	139.73	2.17	95.34		3.52	221.68	3.26	151.26
	1.17	156.22	1.09	106.59		1.76	247.84	1.63	169.11
	0.00	161.34	0.00	110.09		0.00	255.97	0.00	174.66
10EP14-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.70	0.00	1.70	0.00	10EP14-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2.55	0.00	2.55	0.00
	1.27	70.89	1.27	51.96		1.91	112.46	1.91	82.44
	0.85	92.81	0.85	68.03		1.28	147.25	1.28	107.94
	0.42	103.77	0.42	76.06		0.64	164.63	0.64	120.68
	0.00	107.17	0.00	78.56		0.00	170.02	0.00	124.63
10EP16-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.87	0.00	0.87	0.00	10EP16-10*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.30	0.00	1.30	0.00
	0.65	49.64	0.65	39.41		0.98	78.76	0.98	62.53
	0.43	65.00	0.43	51.61		0.65	103.12	0.65	81.87
	0.22	72.67	0.22	57.70		0.33	115.29	0.33	91.54
	0.00	75.05	0.00	59.59		0.00	119.07	0.00	94.54
9EP10-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8.84	0.00	6.76	0.00	9EP10-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	13.29	0.00	10.15	0.00
	6.63	119.94	5.07	79.13		9.97	190.28	7.61	125.54
	4.42	157.04	3.38	103.61		6.64	249.14	5.07	164.37
	2.21	175.57	1.69	115.84		3.32	278.54	2.54	183.77
	0.00	181.33	0.00	119.64		0.00	287.68	0.00	189.80

TABLA I

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: PROLAMSA

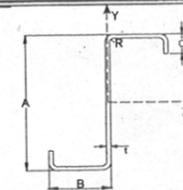


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
9EP12-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5.26	0.00	4.34	0.00	9EP12-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	7.90	0.00	6.53	0.00
	3.94	92.00	3.26	62.83		5.93	145.96	4.90	99.67
	2.63	120.46	2.17	82.26		3.95	191.11	3.26	130.50
	1.31	134.68	1.09	91.97		1.98	213.67	1.63	145.91
	0.00	139.10	0.00	94.98		0.00	220.68	0.00	150.69
9EP14-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.90	0.00	1.90	0.00	9EP14-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2.86	0.00	2.86	0.00
	1.43	60.90	1.43	44.87		2.14	96.61	2.14	71.19
	0.95	79.73	0.95	58.75		1.43	126.49	1.43	93.20
	0.48	89.14	0.48	65.68		0.71	141.42	0.71	104.21
	0.00	92.06	0.00	67.84		0.00	146.06	0.00	107.62
9EP16-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.97	0.00	0.97	0.00	9EP16-9*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.46	0.00	1.46	0.00
	0.73	44.90	0.73	33.95		1.09	71.23	1.09	53.86
	0.49	58.79	0.49	44.45		0.73	93.27	0.73	70.52
	0.24	65.73	0.24	49.70		0.36	104.28	0.36	78.84
	0.00	67.88	0.00	51.33		0.00	107.70	0.00	81.43
8EP10-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8.84	0.00	5.97	0.00	8EP10-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	13.29	0.00	8.96	0.00
	6.63	102.48	4.48	67.61		9.97	162.58	6.72	107.26
	4.42	134.18	2.99	88.52		6.64	212.87	4.48	140.43
	2.21	150.01	1.49	98.97		3.32	238.00	2.24	157.01
	0.00	154.93	0.00	102.21		0.00	245.80	0.00	162.16
8EP12-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5.35	0.00	4.34	0.00	8EP12-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8.04	0.00	6.53	0.00
	4.01	78.67	3.26	53.76		6.03	124.81	4.90	85.28
	2.67	103.00	2.17	70.38		4.02	163.42	3.26	111.66
	1.34	115.16	1.09	78.69		2.01	182.71	1.63	124.84
	0.00	118.94	0.00	81.27		0.00	188.70	0.00	128.94
8EP14-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2.15	0.00	2.15	0.00	8EP14-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3.23	0.00	3.23	0.00
	1.61	51.88	1.61	38.43		2.42	82.30	2.42	60.98
	1.08	67.92	1.08	50.32		1.62	107.76	1.62	79.84
	0.54	75.94	0.54	56.26		0.81	120.48	0.81	89.26
	0.00	78.43	0.00	58.11		0.00	124.43	0.00	92.19
8EP16-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.10	0.00	1.10	0.00	8EP16-8*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.65	0.00	1.65	0.00
	0.82	40.39	0.82	29.25		1.24	64.08	1.24	46.41
	0.55	52.88	0.55	38.30		0.82	83.90	0.82	60.77
	0.27	59.12	0.27	42.82		0.41	93.80	0.41	67.94
	0.00	61.06	0.00	44.23		0.00	96.88	0.00	70.17
7EP10-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	7.80	0.00	5.15	0.00	7EP10-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	11.70	0.00	7.72	0.00
	5.85	85.42	3.86	56.35		8.77	135.52	5.79	89.40
	3.90	111.85	2.57	73.78		5.85	177.44	3.86	117.05
	1.95	125.05	1.29	82.49		2.92	198.39	1.93	130.86
	0.00	129.15	0.00	85.19		0.00	204.89	0.00	135.16

TABLA I

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: PROLAMSA

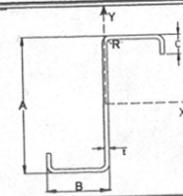


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
7EP12-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5.35	0.00	4.04	0.00	7EP12-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8.04	0.00	6.06	0.00
	4.01	65.67	3.03	44.89		6.03	104.18	4.55	71.22
	2.67	85.98	2.02	58.77		4.02	136.41	3.03	93.25
	1.34	96.13	1.01	65.71		2.01	152.51	1.52	104.25
	0.00	99.28	0.00	67.87		0.00	157.51	0.00	107.67
7EP14-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	2.49	0.00	2.22	0.00	7EP14-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3.74	0.00	3.33	0.00
	1.87	43.12	1.66	32.15		2.81	68.40	2.50	51.01
	1.24	56.45	1.11	42.09		1.87	89.56	1.67	66.78
	0.62	63.12	0.55	47.06		0.94	100.13	0.83	74.66
	0.00	65.19	0.00	48.61		0.00	103.42	0.00	77.11
7EP16-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.27	0.00	1.27	0.00	7EP16-7*2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.91	0.00	1.91	0.00
	0.95	33.75	0.95	24.19		1.43	53.54	1.43	38.38
	0.63	44.19	0.63	31.68		0.95	70.10	0.95	50.25
	0.32	49.40	0.32	35.42		0.48	78.38	0.48	56.19
	0.00	51.02	0.00	36.58		0.00	80.95	0.00	58.03
6EP10-6*2	6.60	0.00	4.35	0.00	6EP10-6*2	9.90	0.00	6.53	0.00
	4.95	55.65	3.27	36.77		7.42	88.29	4.90	58.34
	3.30	72.86	2.18	48.14		4.95	115.60	3.27	76.38
	1.65	81.46	1.09	53.83		2.47	129.24	1.63	85.40
	0.00	84.13	0.00	55.59		0.00	133.48	0.00	88.20
6EP12-6*2	5.19	0.00	3.42	0.00	6EP12-6*2	7.78	0.00	5.14	0.00
	3.89	44.65	2.57	29.45		5.84	70.84	3.85	46.72
	2.59	58.46	1.71	38.56		3.89	92.75	2.57	61.17
	1.30	65.36	0.86	43.11		1.95	103.70	1.28	68.39
	0.00	67.51	0.00	44.52		0.00	107.10	0.00	70.63
6EP14-6*2	2.73	0.00	2.22	0.00	6EP14-6*2	4.10	0.00	3.33	0.00
	2.05	32.82	1.66	21.65		3.08	52.07	2.50	34.35
	1.36	42.98	1.11	28.35		2.05	68.18	1.67	44.97
	0.68	48.05	0.55	31.69		1.03	76.23	0.83	50.28
	0.00	49.62	0.00	32.73		0.00	78.73	0.00	51.93
6EP16-6*2	1.49	0.00	1.42	0.00	6EP16-6*2	2.25	0.00	2.13	0.00
	1.12	26.64	1.06	17.57		1.68	42.26	1.60	27.87
	0.75	34.87	0.71	23.00		1.12	55.33	1.07	36.50
	0.37	38.99	0.35	25.72		0.56	61.86	0.53	40.80
	0.00	40.27	0.00	26.56		0.00	63.89	0.00	42.14
5EP10-5*2	5.40	0.00	3.56	0.00	5EP10-5*2	8.09	0.00	5.34	0.00
	4.05	43.48	2.67	28.72		6.07	68.98	4.01	45.56
	2.70	56.92	1.78	37.60		4.05	90.31	2.67	59.66
	1.35	63.64	0.89	42.04		2.02	100.97	1.34	66.70
	0.00	65.73	0.00	43.42		0.00	104.28	0.00	68.89

TABLA I

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: PROLAMSA

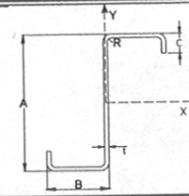


SECCION	METODO ASD				SECCION	METODO LRFD			
	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>			F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
5EP12-5*2	4.25	0.00	2.81	0.00	5EP12-5*2	6.38	0.00	4.21	0.00
	3.19	35.01	2.11	23.08		4.79	55.54	3.16	36.62
	2.13	45.83	1.40	30.22		3.19	72.71	2.11	47.94
	1.06	51.24	0.70	33.78		1.60	81.30	1.05	53.60
	0.00	52.92	0.00	34.89		0.00	83.96	0.00	55.36
5EP14-5*2	2.73	0.00	2.03	0.00	5EP14-5*2	4.10	0.00	3.05	0.00
	2.05	25.82	1.52	17.03		3.08	40.96	2.29	27.01
	1.36	33.80	1.02	22.29		2.05	53.63	1.52	35.37
	0.68	37.79	0.51	24.92		1.03	59.96	0.76	39.54
	0.00	39.03	0.00	25.74		0.00	61.92	0.00	40.84
5EP16-5*2	1.75	0.00	1.42	0.00	5EP16-5*2	2.62	0.00	2.13	0.00
	1.31	20.98	1.06	13.84		1.97	33.29	1.60	21.96
	0.87	27.47	0.71	18.12		1.31	43.59	1.07	28.75
	0.44	30.72	0.35	20.26		0.66	48.73	0.53	32.14
	0.00	31.73	0.00	20.92		0.00	50.33	0.00	33.19
4EP10-4*2	4.15	0.00	2.74	0.00	4EP10-4*2	6.22	0.00	4.10	0.00
	3.11	31.95	2.05	21.09		4.66	50.69	3.08	33.47
	2.07	41.84	1.37	27.62		3.11	66.37	2.05	43.82
	1.04	46.77	0.68	30.88		1.55	74.21	1.03	48.99
	0.00	48.31	0.00	31.89		0.00	76.64	0.00	50.60
4EP12-4*2	3.28	0.00	2.17	0.00	4EP12-4*2	4.92	0.00	3.25	0.00
	2.46	25.86	1.62	17.04		3.69	41.03	2.44	27.03
	1.64	33.86	1.08	22.31		2.46	53.72	1.62	35.39
	0.82	37.86	0.54	24.94		1.23	60.06	0.81	39.57
	0.00	39.10	0.00	25.76		0.00	62.03	0.00	40.87
4EP14-4*2	2.38	0.00	1.57	0.00	4EP14-4*2	3.58	0.00	2.36	0.00
	1.79	19.17	1.18	12.63		2.68	30.41	1.77	20.04
	1.19	25.10	0.79	16.54		1.79	39.82	1.18	26.24
	0.60	28.06	0.39	18.49		0.89	44.52	0.59	29.34
	0.00	28.98	0.00	19.10		0.00	45.98	0.00	30.30
4EP16-4*2	1.75	0.00	1.27	0.00	4EP16-4*2	2.62	0.00	1.90	0.00
	1.31	15.62	0.95	10.30		1.97	24.78	1.43	16.33
	0.87	20.45	0.63	13.48		1.31	32.45	0.95	21.39
	0.44	22.87	0.32	15.07		0.66	36.28	0.48	23.91
	0.00	23.61	0.00	15.57		0.00	37.47	0.00	24.70
3EP12-3*1 1/2	2.35	0.00	1.55	0.00	3EP12-3*1 1/2	3.52	0.00	2.32	0.00
	1.76	14.29	1.16	9.39		2.64	22.66	1.74	14.90
	1.17	18.70	0.77	12.29		1.76	29.67	1.16	19.51
	0.59	20.91	0.39	13.75		0.88	33.18	0.58	21.81
	0.00	21.60	0.00	14.20		0.00	34.26	0.00	22.52

TABLA I

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: PROLAMSA

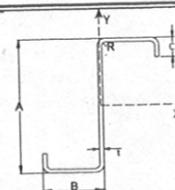


SECCION	METODO ASD				SECCION	METODO LRFD			
	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>			F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
3EP14-3*1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1.72	0.00	1.13	0.00	3EP14-3*1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2.58	0.00	1.70	0.00
	1.29	10.71	0.85	7.04		1.93	16.98	1.27	11.17
	0.86	13.45	0.57	9.22		1.29	22.24	0.85	14.63
	0.43	15.67	0.28	10.31		0.64	24.86	0.42	16.36
	0.00	16.18	0.00	10.65		0.00	25.68	0.00	16.89

TABLA II

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: IMCA



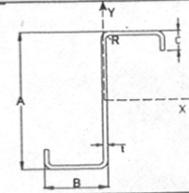
METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 76*18	1.11	0.00	0.77	0.00	ZF 76*18	1.66	0.00	1.16	0.00
	0.83	6.34	0.58	4.91		1.25	10.07	0.87	7.79
	0.55	8.31	0.39	6.43		0.83	13.18	0.58	10.19
	0.28	9.29	0.19	7.18		0.42	14.74	0.29	11.40
	0.00	9.59	0.00	7.42		0.00	15.22	0.00	11.77
ZF 76*16	1.46	0.00	0.96	0.00	ZF 76*16	2.19	0.00	1.45	0.00
	1.10	9.52	0.72	6.55		1.64	15.10	1.08	10.39
	0.73	12.46	0.48	8.58		1.10	19.77	0.72	13.61
	0.37	13.94	0.24	9.59		0.55	22.11	0.36	15.22
	0.00	14.39	0.00	9.90		0.00	22.83	0.00	15.71
ZF 76*14	1.81	0.00	1.19	0.00	ZF 76*14	2.71	0.00	1.79	0.00
	1.35	11.98	0.89	8.00		2.03	19.00	1.34	12.69
	0.90	15.68	0.60	10.47		1.35	24.88	0.89	16.61
	0.45	17.53	0.30	11.71		0.68	27.81	0.45	18.57
	0.00	18.11	0.00	12.09		0.00	28.73	0.00	19.18
ZF 76*12	2.29	0.00	1.51	0.00	ZF 76*12	3.44	0.00	2.27	0.00
	1.72	15.87	1.13	10.47		2.58	25.18	1.70	16.61
	1.15	20.78	0.76	13.71		1.72	32.96	1.13	21.75
	0.57	23.23	0.38	15.33		0.86	36.85	0.57	24.32
	0.00	23.99	0.00	15.83		0.00	38.06	0.00	25.12
ZF 89*18	1.11	0.00	0.90	0.00	ZF 89*18	1.66	0.00	1.35	0.00
	0.83	8.97	0.67	6.44		1.25	14.22	1.01	10.21
	0.55	11.74	0.45	8.43		0.83	18.62	0.68	13.37
	0.28	13.12	0.22	9.42		0.42	20.82	0.34	14.95
	0.00	13.56	0.00	9.73		0.00	21.51	0.00	15.44
ZF 89*16	1.73	0.00	1.14	0.00	ZF 89*16	2.60	0.00	1.71	0.00
	1.30	11.48	0.86	8.56		1.95	18.21	1.29	13.58
	0.87	15.03	0.57	11.21		1.30	23.85	0.86	17.78
	0.43	16.80	0.29	12.53		0.65	26.66	0.43	19.88
	0.00	17.36	0.00	12.94		0.00	27.53	0.00	20.54
ZF 89*14	2.14	0.00	1.42	0.00	ZF 89*14	3.22	0.00	2.12	0.00
	1.61	16.24	1.06	10.97		2.41	25.76	1.59	17.41
	1.07	21.26	0.71	14.37		1.61	33.73	1.06	22.79
	0.54	23.77	0.35	16.06		0.80	37.71	0.53	25.49
	0.00	24.55	0.00	16.59		0.00	38.95	0.00	26.32
ZF 89*12	2.77	0.00	1.83	0.00	ZF 89*12	4.15	0.00	2.74	0.00
	2.07	21.71	1.37	14.33		3.11	34.44	2.05	22.73
	1.38	28.43	0.91	18.76		2.07	45.10	1.37	29.76
	0.69	31.78	0.46	20.97		1.04	50.42	0.68	33.27
	0.00	32.82	0.00	21.66		0.00	52.07	0.00	34.37



TABLA II

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: IMCA

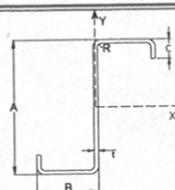


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 89*10	3.48	0.00	2.30	0.00	ZF 89*10	5.22	0.00	3.45	0.00
	2.61	26.78	1.72	17.67		3.92	42.49	2.59	28.04
	1.74	35.06	1.15	23.14		2.61	55.63	1.72	36.71
	0.87	39.20	0.57	25.87		1.31	62.20	0.86	41.05
	0.00	40.49	0.00	26.72		0.00	64.24	0.00	42.39
ZF 102*18	1.11	0.00	0.90	0.00	ZF 102*18	1.66	0.00	1.35	0.00
	0.83	10.59	0.67	7.57		1.25	16.80	1.01	12.00
	0.55	13.86	0.45	9.91		0.83	21.99	0.68	15.72
	0.28	15.50	0.22	11.08		0.42	24.59	0.34	17.57
	0.00	16.01	0.00	11.44		0.00	25.39	0.00	18.15
ZF 102*16	1.75	0.00	1.32	0.00	ZF 102*16	2.62	0.00	1.98	0.00
	1.31	13.54	0.99	10.04		1.97	21.48	1.49	15.93
	0.87	17.73	0.66	13.15		1.31	28.13	0.99	20.86
	0.44	19.82	0.33	14.70		0.66	31.45	0.50	23.32
	0.00	20.47	0.00	15.18		0.00	32.48	0.00	24.09
ZF 102*14	2.48	0.00	1.64	0.00	ZF 102*14	3.73	0.00	2.46	0.00
	1.86	19.10	1.23	12.92		2.79	30.30	1.84	20.50
	1.24	25.00	0.82	16.91		1.86	39.67	1.23	26.83
	0.62	27.96	0.41	18.91		0.93	44.35	0.61	30.00
	0.00	28.87	0.00	19.53		0.00	45.81	0.00	30.99
ZF 102*12	3.24	0.00	2.14	0.00	ZF 102*12	4.86	0.00	3.21	0.00
	2.43	25.81	1.60	17.03		3.65	40.94	2.41	27.02
	1.62	33.79	1.07	22.30		2.43	53.61	1.60	35.38
	0.81	37.78	0.53	24.93		1.22	59.94	0.80	39.55
	0.00	39.02	0.00	25.75		0.00	61.90	0.00	40.85
ZF 102*10	4.09	0.00	2.70	0.00	ZF 102*10	6.14	0.00	4.05	0.00
	3.07	31.95	2.03	21.08		4.61	50.69	3.04	33.45
	2.05	41.83	1.35	27.60		3.07	66.36	2.03	43.79
	1.02	46.77	0.68	30.86		1.54	74.20	1.01	48.96
	0.00	48.30	0.00	31.88		0.00	76.63	0.00	50.57
ZF 127*18	0.89	0.00	0.89	0.00	ZF 127*18	1.33	0.00	1.33	0.00
	0.67	14.14	0.67	10.03		1.00	22.43	1.00	15.91
	0.44	18.51	0.44	13.13		0.67	29.37	0.67	20.84
	0.22	20.70	0.22	14.68		0.33	32.83	0.33	23.30
	0.00	21.37	0.00	15.17		0.00	33.91	0.00	24.06
ZF 127*16	1.75	0.00	1.42	0.00	ZF 127*16	2.62	0.00	2.13	0.00
	1.31	18.06	1.06	13.26		1.97	28.65	1.60	21.04
	0.87	23.64	0.71	17.37		1.31	37.51	1.07	27.55
	0.44	26.44	0.35	19.42		0.66	41.94	0.53	30.80
	0.00	27.30	0.00	20.05		0.00	43.32	0.00	31.81

TABLA II

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: IMCA

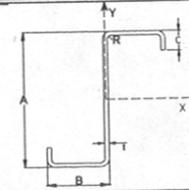


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 127*14	2.73	0.00	2.09	0.00	ZF 127*14	4.10	0.00	3.13	0.00
	2.05	25.31	1.57	17.13		3.08	40.16	2.35	27.18
	1.36	33.14	1.04	22.43		2.05	52.58	1.57	35.59
	0.68	37.05	0.52	25.08		1.03	58.79	0.78	39.79
	0.00	38.27	0.00	25.90		0.00	60.71	0.00	41.10
ZF 127*12	4.19	0.00	2.77	0.00	ZF 127*12	6.29	0.00	4.15	0.00
	3.14	34.67	2.07	22.88		4.71	55.01	3.11	36.30
	2.10	45.40	1.38	29.96		3.14	72.02	2.07	47.53
	1.05	50.76	0.69	33.50		1.57	80.52	1.04	53.14
	0.00	52.42	0.00	34.59		0.00	83.17	0.00	54.88
ZF 127*10	5.31	0.00	3.51	0.00	ZF 127*10	7.97	0.00	5.26	0.00
	3.99	43.14	2.63	28.47		5.98	68.44	3.95	45.16
	2.66	56.48	1.75	37.27		3.99	89.61	2.63	59.13
	1.33	63.15	0.88	41.67		1.99	100.18	1.32	66.11
	0.00	65.22	0.00	43.04		0.00	103.47	0.00	68.28
ZF 152*16	1.46	0.00	1.42	0.00	ZF 152*16	2.19	0.00	2.13	0.00
	1.09	26.12	1.06	18.45		1.64	41.44	1.60	29.28
	0.73	34.20	0.71	24.16		1.10	54.25	1.07	38.33
	0.36	38.23	0.35	27.01		0.55	60.66	0.53	42.86
	0.00	39.49	0.00	27.90		0.00	62.65	0.00	44.26
ZF 152*14	2.73	0.00	2.22	0.00	ZF 152*14	4.10	0.00	3.33	0.00
	2.05	34.84	1.66	25.75		3.08	55.27	2.50	40.85
	1.36	45.62	1.11	33.71		2.05	72.37	1.67	53.48
	0.68	51.00	0.55	37.69		1.03	80.91	0.83	59.79
	0.00	52.67	0.00	38.93		0.00	83.57	0.00	61.75
ZF 152*12	5.14	0.00	3.39	0.00	ZF 152*12	7.71	0.00	5.09	0.00
	3.86	50.89	2.54	34.23		5.78	80.74	3.82	54.30
	2.57	66.63	1.70	44.81		3.86	105.71	2.54	71.10
	1.29	74.50	0.85	50.10		1.93	118.19	1.27	79.49
	0.00	76.94	0.00	51.75		0.00	122.07	0.00	82.09
ZF 152*10	6.54	0.00	4.31	0.00	ZF 152*10	9.80	0.00	6.47	0.00
	4.90	64.89	3.23	42.82		7.35	102.94	4.85	67.94
	3.27	84.96	2.16	56.07		4.90	134.78	3.23	88.95
	1.63	94.99	1.08	62.68		2.45	150.69	1.62	99.45
	0.00	98.10	0.00	64.74		0.00	155.64	0.00	102.71
ZF 178*16	1.24	0.00	1.24	0.00	ZF 178*16	1.86	0.00	1.86	0.00
	0.93	32.91	0.93	23.54		1.40	52.22	1.40	37.35
	0.62	43.09	0.62	30.82		0.93	68.37	0.93	48.90
	0.31	48.18	0.31	34.46		0.47	76.44	0.47	54.67
	0.00	49.76	0.00	35.59		0.00	78.94	0.00	56.47

TABLA II

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

Fabricante: IMCA

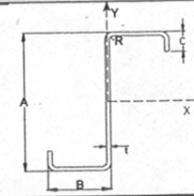


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 178*14	2.43	0.00	2.22	0.00	ZF 178*14	3.66	0.00	3.33	0.00
	1.82	35.01	1.66	32.46		2.74	70.11	2.50	51.49
	1.22	45.83	1.11	42.49		1.83	91.79	1.67	67.42
	0.61	51.24	0.55	47.51		0.91	102.63	0.83	75.37
	0.00	52.92	0.00	49.07		0.00	105.99	0.00	77.85
ZF 178*12	5.35	0.00	4.02	0.00	ZF 178*12	8.04	0.00	6.03	0.00
	4.01	67.13	3.01	45.53		6.03	106.50	4.52	72.23
	2.67	87.89	2.01	59.61		4.02	139.44	3.01	94.57
	1.34	98.26	1.00	66.64		2.01	155.90	1.51	105.73
	0.00	101.49	0.00	68.83		0.00	161.01	0.00	109.20
ZF 178*10	7.76	0.00	5.12	0.00	ZF 178*10	11.64	0.00	7.68	0.00
	5.82	86.62	3.84	57.16		8.73	137.43	5.76	90.69
	3.88	113.42	2.56	74.85		5.82	179.93	3.84	118.74
	1.94	126.80	1.28	83.68		2.91	201.17	1.92	132.76
	0.00	130.96	0.00	86.43		0.00	207.77	0.00	137.11
ZF 203*16	1.08	0.00	1.08	0.00	ZF 203*16	1.62	0.00	1.62	0.00
	0.81	38.47	0.81	28.69		1.22	61.04	1.22	45.52
	0.54	50.37	0.54	37.57		0.81	79.92	0.81	59.60
	0.27	56.32	0.27	42.00		0.41	89.35	0.41	66.64
	0.00	58.17	0.00	43.38		0.00	92.28	0.00	68.82
ZF 203*14	2.11	0.00	2.11	0.00	ZF 203*14	3.18	0.00	3.18	0.00
	1.59	54.20	1.59	38.45		2.38	85.98	2.38	61.01
	1.06	70.96	1.06	50.35		1.59	112.58	1.59	79.88
	0.53	79.33	0.53	56.29		0.79	125.86	0.79	89.30
	0.00	81.94	0.00	58.14		0.00	129.99	0.00	92.23
ZF 203*12	5.35	0.00	4.34	0.00	ZF 203*12	8.04	0.00	6.53	0.00
	4.01	83.29	3.26	57.59		6.03	132.14	4.90	91.37
	2.67	109.06	2.17	75.41		4.02	173.02	3.26	119.64
	1.34	121.93	1.09	84.31		2.01	193.44	1.63	133.76
	0.00	125.93	0.00	87.08		0.00	199.78	0.00	138.14
ZF 203*10	8.84	0.00	5.92	0.00	ZF 203*10	13.29	0.00	8.89	0.00
	6.63	111.41	4.44	73.52		9.97	176.76	6.67	116.65
	4.42	145.87	2.96	96.27		6.64	231.43	4.44	152.73
	2.21	163.09	1.48	107.63		3.32	258.74	2.22	170.75
	0.00	168.44	0.00	111.16		0.00	267.23	0.00	176.35
ZF 229*16	0.95	0.00	0.95	0.00	ZF 229*16	1.43	0.00	1.43	0.00
	0.72	42.99	0.72	34.25		1.08	68.20	1.08	54.33
	0.48	56.29	0.48	44.84		0.72	89.30	0.72	71.14
	0.24	62.93	0.24	50.13		0.36	99.84	0.36	79.53
	0.00	65.00	0.00	51.78		0.00	103.12	0.00	82.14

TABLA II

COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE  
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES

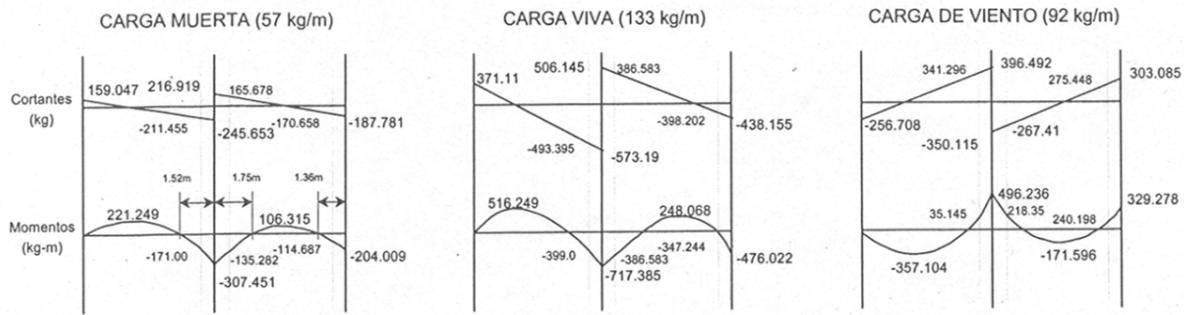
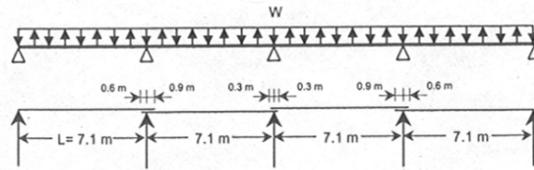
Fabricante: IMCA



METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>		SECCION	F <sub>y</sub> = 3514 kg/cm <sup>2</sup>		F <sub>y</sub> = 2319 kg/cm <sup>2</sup>	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 229*14	1.87	0.00	1.87	0.00	ZF 229*14	2.81	0.00	2.81	0.00
	1.40	64.89	1.40	46.26		2.11	102.95	2.11	73.39
	0.94	84.96	0.94	60.57		1.41	134.79	1.41	96.10
	0.47	94.99	0.47	67.72		0.70	150.70	0.70	107.44
	0.00	98.11	0.00	69.94		0.00	155.65	0.00	110.96
ZF 229*12	5.28	0.00	4.34	0.00	ZF 229*12	7.94	0.00	6.53	0.00
	3.96	97.67	3.26	69.34		5.96	154.95	4.90	110.01
	2.64	127.87	2.17	90.79		3.97	202.87	3.26	144.04
	1.32	142.97	0.47	104.23		1.99	226.82	1.63	161.04
	0.00	147.66	0.00	104.83		0.00	234.26	0.00	166.32
ZF 229*10	8.84	0.00	6.73	0.00	ZF 229*10	13.29	0.00	10.10	0.00
	6.63	139.34	5.05	91.95		9.97	221.06	7.57	145.89
	4.42	182.44	3.37	120.40		6.64	289.44	5.05	191.01
	2.21	203.97	1.68	134.61		3.32	323.60	2.52	213.55
	0.00	210.66	0.00	139.02		0.00	334.21	0.00	220.56
ZF 254*14	1.68	0.00	1.68	0.00	ZF 254*14	2.52	0.00	2.52	0.00
	1.26	73.10	1.26	54.27		1.89	115.98	1.89	86.10
	0.84	95.72	0.84	71.06		1.26	151.85	1.26	112.74
	0.42	107.01	0.42	79.45		0.63	169.78	0.63	126.04
	0.00	110.52	0.00	82.05		0.00	175.34	0.00	130.18
ZF 254*12	4.72	0.00	4.34	0.00	ZF 254*12	7.10	0.00	6.53	0.00
	3.54	116.77	3.26	84.80		5.32	185.26	4.90	134.53
	2.36	152.89	2.17	111.02		3.55	242.56	3.26	176.14
	1.18	170.93	1.09	124.13		1.77	271.19	1.63	196.93
	0.00	176.54	0.00	128.20		0.00	280.08	0.00	203.39
ZF 254*10	8.84	0.00	7.18	0.00	ZF 254*10	13.29	0.00	10.79	0.00
	6.63	163.39	5.39	111.10		9.97	259.22	8.10	176.26
	4.42	213.93	3.59	145.46		6.64	339.40	5.40	230.78
	2.21	239.18	1.80	162.63		3.32	379.46	2.70	258.01
	0.00	247.02	0.00	167.97		0.00	391.90	0.00	266.48
ZF 305*12	3.89	0.00	3.89	0.00	ZF 305*12	5.85	0.00	5.85	0.00
	2.92	150.04	2.92	108.18		4.39	238.03	4.39	171.63
	1.95	196.44	1.95	141.64		2.93	311.66	2.93	224.71
	0.97	219.63	0.97	158.36		1.46	348.44	1.46	251.24
	0.00	226.83	0.00	163.55		0.00	359.87	0.00	259.48
ZF 305*10	8.32	0.00	7.18	0.00	ZF 305*10	12.51	0.00	10.79	0.00
	6.24	208.87	5.39	141.91		9.38	331.36	8.10	225.13
	4.16	273.47	3.59	185.80		6.25	433.86	5.40	294.77
	2.08	305.75	1.80	207.73		3.13	485.07	2.70	329.56
	0.00	315.77	0.00	214.54		0.00	500.98	0.00	340.37

# **ANEXO V.**

Diagramas y Cargas de Diseño de los Ejemplos  
Aplicados.



**LRFD (Cuatro Claros)**

**CARGAS DE DISEÑO**

a).-Momentos ( $M_u$ ) debido a diseño por cargas gravitacionales.

$$M_u = 1.2M_D + 1.6M_L$$

	kg-m	Ton-cm
Claro extremo:		
M(+) máximo:	1091,497	109,150
M(-) al final del traslape derecho:	-843,600	-84,360
M(-) bajo el apoyo interior:	-1516,757	-151,676
Claro interior:		
M(-) al final del traslape izquierdo:	-780,871	-78,087
M(+) máximo:	450,066	45,007
M(-) al final del traslape derecho:	-693,215	-69,321
M(-) bajo el apoyo interior:	-1006,446	-100,645

b).-Momentos ( $M_u$ ) para diseño por viento.

$$M_u = 1.2M_D - 1.3M_W$$

	kg-m	Ton-cm
Claro extremo:		
M cerca del centro del claro:	-176,299	-17,630
Claro interior:		
M cerca del centro del claro:	-106,688	-10,669

a).- Aplastamiento  $P_u$  debido a diseño por cargas gravitacionales.

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L$$

	kg
En el apoyo izquierdo:	784,632
En primer apoyo interior:	2282,022
En apoyo central:	1852,770

a).-  $V_u$  debido a diseño por cargas gravit.

$$V_u = 1.2V_D + 1.6V_L$$

	kg
Claro extremo:	
V bajo el apoyo izquierdo:	537,927
V al final del traslape der.:	1043,178
V en lado izq. de apoyo int.:	1211,888
Claro interior:	
V en lado der. de apoyo int.:	1070,135
V al final del traslape izq.:	817,346
V al final del traslape der.:	807,781
V bajo el apoyo central:	926,385

b).-  $V_u$  para diseño por viento.

$$V_u = 1.2V_D - 1.3V_W$$

	kg
Claro extremo:	
V bajo el apoyo izquierdo:	-142,8724
V al final del traslape der.:	-189,9388
V en lado izq. de apoyo int.:	-220,656
Claro interior:	
V en lado der. de apoyo int.:	-194,8467
V al final del traslape izq.:	-148,8194
V al final del traslape der.:	-153,2928
V bajo el apoyo central:	-168,6733

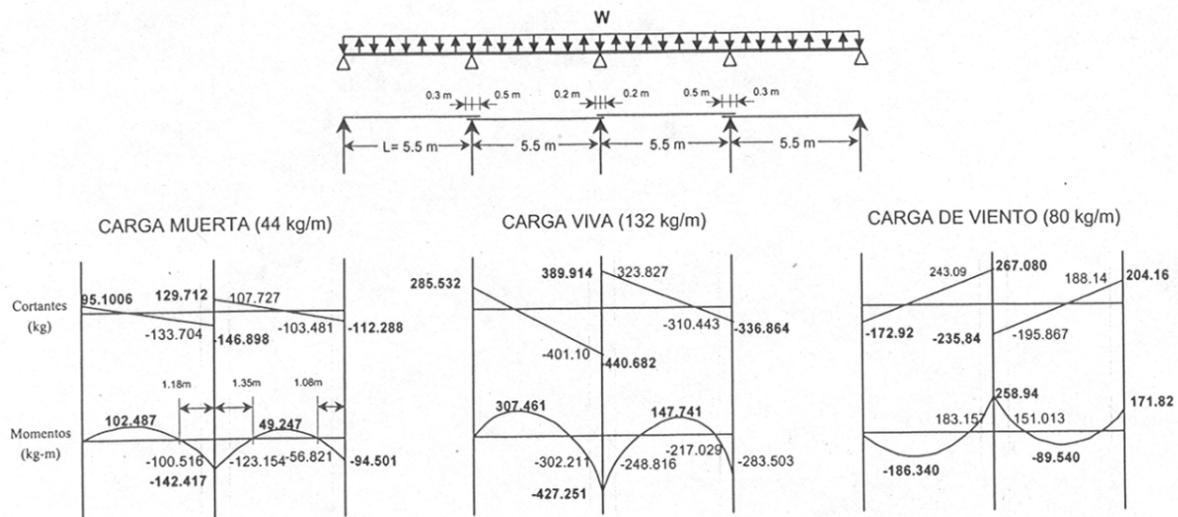


Figura 3.22

ASD (Cuatro Claros)

CARGAS DE DISEÑO

a).-Momentos (M) debido a diseño por cargas gravitacionales.

$M = M_D + M_{Lr}$

	kg-m	Ton-cm
Claro extremo:		
M(+) máximo:	409,948	40,995
M(-) al final del traslape derecho:	-402,727	-40,273
M(-) bajo el apoyo interior:	-569,668	-56,967
Claro interior:		
M(-) al final del traslape izquierdo:	-371,970	-37,197
M(+) máximo:	196,988	19,699
M(-) al final del traslape derecho:	-273,850	-27,385
M(-) bajo el apoyo interior:	-378,004	-37,800

b).- Momentos (M) para diseño por viento.

$M = 0.75(M_D - M_W)$

Claro extremo:		
M cerca del centro del claro:	-62,890	-6,289
Claro interior:		
M cerca del centro del claro:	-30,220	-3,022

a).- Aplastamiento  $P_u$  debido a diseño por cargas gravitacionales.

$P_u = P_D + P_{Lr}$

	kg
En el apoyo izquierdo:	380,638
En primer apoyo interior:	1107,206
En apoyo central:	898,304

B).- Aplastamiento  $P_u$  debido a diseño por cargas de viento.

$P_u = 0.75(P_D + P_{Lr})$

	kg
En el apoyo izquierdo:	-58,3605
En primer apoyo interior:	-169,7325
En apoyo central:	-137,808

a).-  $V_u$  debido a diseño por cargas gravitacionales

$V_u = V_D + V_{Lr}$

	kg
Claro extremo:	
V bajo el apoyo izquierdo:	380,638
V al final del traslape der.:	534,804
V en lado izq. de apoyo int.:	587,580
Claro interior:	
V en lado der. de apoyo int.:	519,626
V al final del traslape izq.:	431,554
V al final del traslape der.:	413,924
V bajo el apoyo central:	449,152

b).-  $V_u$  para diseño por viento.

$V_u = 0.75(V_D - V_W)$

	kg
Claro extremo:	
V bajo el apoyo izquierdo:	-58,3605
V al final del traslape der.:	-82,0395
V en lado izq. de apoyo int.:	-90,1365
Claro interior:	
V en lado der. de apoyo int.:	-79,596
V al final del traslape izq.:	-90,1365
V al final del traslape der.:	-63,4995
V bajo el apoyo central:	-68,904

# **A N E X O VI.**

Secuencia de Diseño de los Ejemplos Aplicados.

## **ANEXO VI. SECUENCIA DE DISEÑO.**

- 1. Definición de los criterios de diseño.**
- 2. Definición de las condiciones de carga.**
- 3. Obtención de los elementos mecánicos.**
  - 3.1 Momentos, cortantes, distancias entre apoyos y puntos de inflexión.
- 4. Obtención de momentos y cortantes requeridos.**
  - 4.1 Cálculo del modulo de sección mínima requerido.
- 5. Propuesta de los perfiles.**
- 6. Determinación de las propiedades geométricas no reducidas.**
- 7. Diseño por flexión.**
  - 7.1 Obtención del momento nominal en x, (claro extremo y claro interior).
  - 7.2 Cálculo de los momentos de diseño por los métodos ASD y LRFD.
  - 7.3 Revisión de eficiencias.
- 8. Revisión del perfil por pandeo Latero-torsional.**
  - 8.1 Definición de los parámetros básicos.
  - 8.2 Definición de distancias entre apoyos y puntos de inflexión, distancia sin apoyo lateral y longitud de traslape.
  - 8.3 Obtención del momento nominal.
  - 8.4 Obtención de los momentos de diseño por los métodos ASD y LRFD.
- 9. Diseño por cortante puro.**
  - 9.1 Obtención de los cortantes requeridos.
  - 9.2 Cálculo del cortante nominal en claros extremos e internos.
  - 9.3 Cálculo del cortante de diseño por los métodos ASD y LRFD.

#### **10. Revisión por combinación de flexión y cortante.**

- 10.1 Aplicación de las ecuaciones de interacción por los métodos ASD y LRFD.

#### **11. Revisión por Aplastamiento del Alma.**

- 11.1 Determinación de los cortantes en los apoyos.
- 11.2 Revisión de las limitantes para la aplicación de la tabla 3.2.
- 11.3 Cálculo de las fuerzas nominales de aplastamiento ( $P_n$ ) en claros extremos e internos.
- 11.4 Cálculo de las fuerzas de diseño de aplastamiento del alma por los métodos ASD y LRFD.

#### **12. Revisión por Combinación de Flexión y Aplastamiento del Alma.**

- 12.1 Aplicación de las ecuaciones de interacción por los métodos ASD y LRFD en primer apoyo interior y apoyo central.

#### **13. Revisión de Succión por Viento.**

- 13.1 Determinación del factor de reducción R.
- 13.2 Cálculo del momento nominal cerca del centro del claro extremo y claro interior.
- 13.3 Obtención de los momentos nominales de diseño por los métodos ASD y LRFD.

#### **14. Cálculo de las Fuerzas de Anclaje.**

- 14.1 Determinación de la orientación de los Polines.
- 14.2 Propuesta de Polines a anclar.
- 14.3 Definición de la pendiente de la cubierta.
- 14.4 Cálculo de la fuerza total de anclaje "W" para carga gravitacional y de viento por los métodos ASD y LRFD.
- 14.5 Cálculo de las fuerzas de anclaje  $P_L$ .

#### **15. Diseño Final.**

## **BIBLIOGRAFÍA**

Peña Ramos, Carlos E. "Diseño Básico de perfiles Laminados en frío", Universidad de Sonora, Primera Edición (2000). Hermosillo, Sonora.

Amarillas García Mara Danette, Yocupicio Monroy Daniela. " Desarrollo de las Propiedades de Diseño con Respecto al Eje Fuerte de Vigas a Base de Perfiles Z Laminados en Frío". Disertación Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, Mayo del 2001.

Felix Salazar Glenda Yadhira, Alvarez flores Lucio Alberto " Desarrollo de Tablas de Diseño considerando el Método ASD y LRFD para vigas sujetas al Aplastamiento del Alma a base de Perfiles Z Laminados en Frío". Disertación, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, junio del 2001.

Romo Felix Pablo, Meza Ortega Ismael Angel " Desarrollo de Tablas de Diseño considerando el Método ASD y LRFD para vigas sujetas a Combinación cortante y flexión a base de Perfiles Z Laminados en Frío". Disertación, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, junio del 2001.

Villegas Carrillo Saúl David, Jiménez Contreras Noé Fco. " Diseño por el Método ASD y LRFD de Polines a base de perfiles Z Laminados en Frío sujetos A Flexión Biaxial". Disertación, Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, junio del 2001.