

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS

DESARROLLO DE TABLAS DE DISEÑO
CONSIDERANDO EL MÉTODO ASD Y LRFD
PARA VIGAS SUJETAS A COMBINACIÓN DE
CORTANTE Y FLEXIÓN A BASE DE PERFILES
Z LAMINADOS EN FRÍO

DISERTACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTAN:

PABLO ARMANDO ROMO FÉLIX

ISMAEL ANGEL MEZA ORTEGA

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



CAPITULO1:INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2: LOS PERFILES LAMINADOS EN FRÍO	3
2.1 Aspectos Generales	3
2.2 Ventajas Principales	5
2.3 Tipos y Usos de Los Perfiles Laminados en Frío	6
2.3.1 <i>Miembros Estructurales Individuales</i>	6
2.3.2 <i>Paneles y Decks</i>	10
2.4 Métodos de Fabricación	14
2.4.1 <i>Método de Prensa</i>	14
2.4.2 <i>Método de Rolado</i>	15
CÁPITULO 3: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE VIGAS BAJO	
COMBINACIÓN DE CORTANTE Y FLEXIÓN.....	21
3.1 Definición de Terminos Generales	22
3.1.1 <i>Peralte Efectivo de Almas</i>	24
3.1.2 <i>Elementos a Compresión no Atiesados</i>	26
3.1.3 <i>Elementos no Atiesados sujetos a Gradiente de Esfuerzos ...</i>	27
3.1.4 <i>Elementos sujetos a Compresión uniforme con atiesador</i>	
<i>de borde</i>	28
3.2 Conceptos Fundamentales	31
3.2.1 <i>Diseño por Esfuerzos Permisibles (ASD)</i>	32
3.2.2.1 <i>Cargas de Diseño</i>	33
3.2.2 <i>Diseño de Factor de Carga y Resistencia (LRFD)</i>	35
3.3 Momento Nominal de la Sección	36
3.3.1 <i>Inicio de Fluencia</i>	36
3.3.2 <i>Cortante</i>	39

3.3.2.1 Resistencia Nominal por Cortante de Almas sin Agujeros	40
3.3.2.2 Resistencia por Cortante de Almas sin Agujeros	43
3.3.3 Flexión en Almas	45
3.3.4 Combinación de Cortante y Flexión en Almas	45
3.3.4.1 Resistencia para Flexión y Cortante Combinados	48
3.4 Diagrama de Flujo Momento y Cortante Método ASD y LRFD	50
3.5 Tablas de Diseño para Calcular la Resistencia a la Combinación de Cortante y Flexión	52
3.6 Ejemplos de Aplicación de las Tablas de Diseño	64
CAPITULO 4: CONCLUSIONES	82
ANEXOS	
ANEXO I. Tablas de Dimensiones y Módulos Efectivos S_{ex} , para Perfiles Zeta Laminados en Frío	84
ANEXO II. Procedimiento para Calcular el Módulo de Sección Efectiva...	88
ANEXO III. Diagrama de Flujo para el Cálculo del S_{ex}	95
BIBLIOGRAFÍA	100

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El uso de perfiles laminados en frío, ya sea como elementos estructurales individuales o como paneles y decks utilizados en techos, cubiertas y pisos, son cada vez comunes en la construcción, tanto en nuestro país como a nivel internacional.

Sin embargo los métodos de análisis y diseño de estructuras a base de estos perfiles resultan muy elaborados, y el software existente en el mercado es aún muy escaso y poco conocido. Uno de los principales problemas es que, a diferencia de los perfiles formados en caliente, la aplicación de las especificaciones de fabricación, difieren, aun en tipos de perfiles que pueden ser considerados comunes, tales como los canales, los zeta o los sombreros; cada fabricante los produce según su propia lógica sin haberse logrado todavía una homogeneización de tamaños, espesores, y características. Los estructuristas deben entonces enfrentarse al dilema de escoger el perfil adecuado para una función determinada, con las características apropiadas, dentro de las particularidades de los perfiles que producen los distintos fabricantes.

Por estas razones y como una manera de aportar ayudas de diseño, en este trabajo se desarrollarán tablas para determinar la resistencia bajo combinación de flexión y cortante de perfiles Zeta de acuerdo a los Métodos ASD (Método de Esfuerzos Permisibles) y LFRD (Diseño por Factor de Carga y Resistencia). Se escogieron los perfiles Zeta, ya que, junto con los canal, son los más usuales actualmente, pero éstos últimos ya han sido analizados en trabajos anteriores al nuestro.

En siguiente capítulo se incluye una descripción de los perfiles en frío, sus ventajas y desventajas principales en comparación con otros materiales, los tipos mas utilizados y su aplicación para resolver problemas estructurales en la construcción, así como sus métodos de manufactura y fabricación.

En el capítulo 3 se explican de una forma resumidas las bases teóricas fundamentales en las que se sustenta el AISI (Instituto Americano del Hierro y

Acero) para presentar las especificaciones y algoritmos de diseño, específicamente para la combinación de cortante y momento. Esto se hace en base a las especificaciones técnicas publicadas en 1996 y revisadas en 1999.

Enseguida se presenta la metodología para elaborar las tablas de diseño, basándonos en la geometría de perfiles de fabricantes mexicanos, para determinar sus propiedades geométricas efectivas a flexión debido a la escasa o nula información técnica existente en nuestro país al respecto. Se analizaron los perfiles Zeta de los proveedores más importantes: IMSA, PROLAMSA, HYLSA. Se incluyen además ejemplos ilustrativos de diseño y revisión de vigas bajo la combinación de flexión en dos direcciones y el efecto de la fuerza cortante, con objeto de lograr una mayor comprensión en la aplicación de la información tabular obtenida.

El capítulo final analiza y hace una revisión de los resultados obtenidos, problemas que se presentaron y dificultaron la realización del trabajo, objetivos no alcanzados por limitaciones técnicas o de otra índole, así como un recuento de los conceptos comprendidos y su aplicación.

Por último se sugieren posible líneas de trabajo que pudieran complementar y continuar el mismo, y se añade una pequeña lista bibliográfica utilizada a para auxiliarnos en la elaboración de este tema.

CAPÍTULO 2. LOS PERFILES LAMINADOS EN FRÍO.

2.1 Aspectos generales.

En la construcción, el acero es utilizado principalmente en grandes estructuras y en edificaciones en las que se requiera de considerables claros libres entre columnas, y donde el uso de otros elementos como vigas y travesaños pudieran restringir la altura libre de los espacios.

Grandes obras civiles, naves industriales, centros comerciales, plantas de manufactura, almacenes, etc., exigen estructuras que incluyan éstas solicitudes. En el uso del acero estructural para construcción se distinguen dos tipos de elementos, que se diferencian entre sí en base a su proceso de producción: Los perfiles laminados en frío, que como su nombre lo indica, son perfiles formados a temperatura ambiente y los perfiles laminados en caliente, que contrariamente a los laminados en frío su proceso de formación se realiza en condiciones de temperatura muy altas, en hornos especiales y donde el material es moldeado a partir de un estado semi-líquido.

De forma combinada, los dos tipos de perfiles pueden trabajar en conjunto para dar a la estructura la resistencia y rigidez requerida, pero se observan comportamientos estructurales muy disímiles cuando analizamos a cada tipo separadamente. El comportamiento estructural de los perfiles formados en frío está determinado esencialmente por los efectos del proceso de fabricación y por el uso de materiales con espesores relativamente reducidos, pero con índices de resistencia elevados con los cuáles obtenemos elementos delgados y ligeros con configuraciones geométricas diversas, que les otorga la capacidad de resistencia y la rigidez suficiente para trabajar como elementos sujetos a carga externa.

La teoría básica del acero laminado en frío es simple. Una hoja de lámina de acero delgada soporta muy poca carga, esto es debido a su baja rigidez. Sin embargo, si la



hoja es transformada mediante un proceso de doblado ó rolado dándole alguna forma de perfil, la hoja adquiere un sustancial incremento de rigidez y resistencia. La calidad estructural necesaria se puede obtener, no necesariamente por incrementar el espesor de la lámina, sino por conformar la hoja en una forma precisa aplicando conocimientos de la ingeniería. De igual modo, éste método de fabricación también aumenta las propiedades mecánicas del material, ya que los dobleces resultantes del proceso actúan como atiesadores.

La mayoría de los productos están hechos a partir de hojas delgadas desde 0.28 mm a 4.8 mm, aunque algunas secciones son hechas a partir de hojas tan gruesas como 19 a 25 mm. El diseño basado en perfiles y componentes rolados en frío se ha convertido en un proceso preciso, y es necesario diseñar cada componente de una forma específica.

Por todo esto y dado el incremento de la demanda en la industria de la construcción (actualmente, el acero formado en frío representa más del 45% del acero de construcción en el mercado y su uso se está incrementando), los investigadores y profesionales de la ingeniería estructural han tenido que preparar especificaciones para el diseño de estructuras con perfiles laminados en frío. La organización dedicada al establecimiento de especificaciones homogéneas 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 sus trabajos de investigación fue hecha en 1996, siendo actualizada en 1999. En el presente trabajo se observará esta última edición y su actualización como referencia.

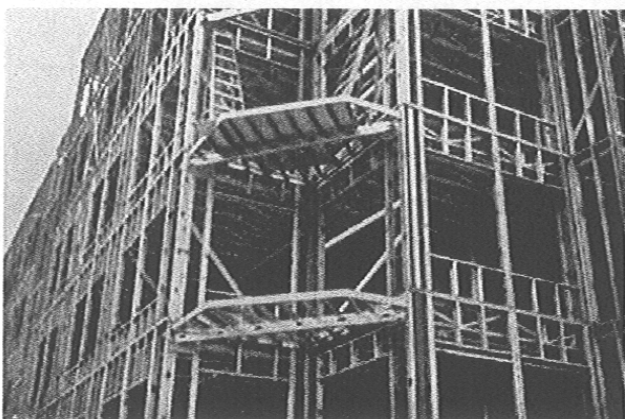


Fig. 2.1 Edificio compuesto en su mayor parte a base de perfiles laminados en frío.

2.2 Ventajas Principales.

Hoy en día, conocer el uso y las ventajas del acero laminado en frío y su comportamiento en condiciones de trabajo, es indispensable para arquitectos, ingenieros civiles y estructuristas. Desde que se cuantifica el material a usar y su costo resulta crítico, los productos de acero formados en frío se convierten cada vez más en una alternativa económica de diseño, muy atractiva para los constructores. El acero laminado en frío ofrece versatilidad en la construcción debido a su diversidad de formas, a su bajo peso y facilidad de manejo y montaje.

En general, los perfiles laminados en frío presentan las siguientes ventajas relevantes:

- En comparación con los perfiles laminados en caliente que son más pesados, los perfiles laminados en frío son más ligeros para cargas livianas y/o claros cortos.
- Se pueden fabricar económicamente secciones con configuraciones poco comunes para amoldarse a condiciones de uso muy particulares sin aumentar en peso propio, obteniendo relaciones resistencia-peso más favorables. Esto puede resultar en disminuciones mayores en peso por metro cuadrado de estructuración, así como ahorro en materiales.
- Son económicos para su transporte, ya que por su poco peso, minimiza gastos de flete y ahorra un desembolso mayor al no requerir el uso de maquinaria pesada (gruas ó plumas).
- Reduce el costo de producción y tiene un mayor control de calidad en dicho proceso. Algunas máquinas de rolado, doblan hasta 90 mts. de cintilla de lámina en minutos.
- 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.

- La utilización de este material como lámina corrugada en sistema 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.
- Acelera el proceso de montaje de las estructuras debido al prehabilitado en taller (cortes y barrenaciones) y a su ligereza.

Este tipo de perfiles tienen una gran durabilidad en comparación con el concreto y más aún con la madera, el acero laminado en frío no presenta contracción, no presenta flujo plástico o deformaciones, ni es propenso al ataque de plagas o termitas. Los problemas de corrosión no son de graves consecuencias debido al tipo de pintura anticorrosiva o el galvanizado con que se fabrican, no propaga el fuego pero se le puede aplicar tratamientos adicionales contra el incendios.

2.3 Tipos y Usos de los Perfiles Laminados en Frío.

Actualmente se puede encontrar en el mercado un amplio espectro de productos que satisfacen muchas necesidades, desde lo más sencillo hasta sofisticadas estructuras como escuelas, iglesias y naves industriales. Son igualmente usados en una gran variedad de productos de la construcción, como puertas, ventanas y divisiones. En carreteras, el acero laminado en frío es usado en alcantarillas, guardas, en puentes y otros componentes.

A los perfiles laminados en frío podemos agruparlos en dos tipos: los miembros estructurales individuales y los paneles y decks.

2.3.1 Miembros Estructurales Individuales.

Los perfiles estructurales típicos más usados son los perfiles "C" o canal, los perfiles "Z", los angulares, los perfiles "sombbrero", los perfiles "I", los perfiles "T" y los perfiles tubulares.

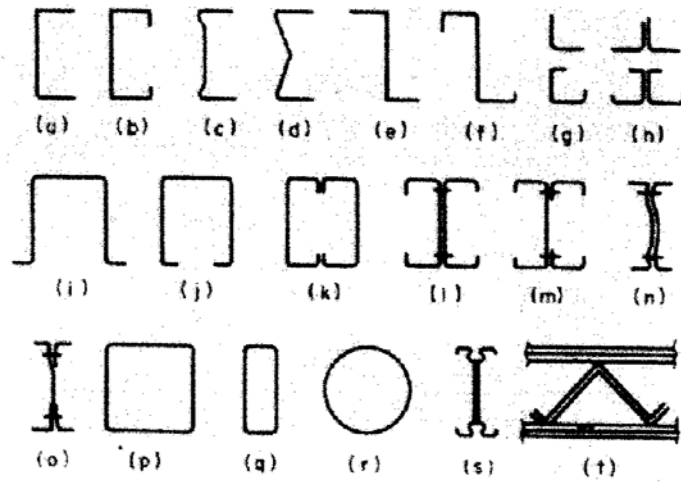


Fig. 2.2 Tipos de Miembros Estructurales individuales

En la fig. 2.2 se muestran los perfiles mas comunes, incluyendo los antes mencionados. Con objeto de distiguir a estos tipos de perfiles, se les a clasificado en "abiertos" [Fig.2.1 (a) a (j)], "cerrados" [Fig. 2.1 (p) a (r)] y "compuestos" [Fig. 2.1 (k) a (o), (s) y (t)]. Las dimensiones más comunes de estos perfiles varían de 2 a 12 plg (51 a 305 mm) de peralte y de 0.048 a 0.25 plg (1.2 a 6.4 mm) de espesor. En nuestros días se fabrican perfiles con peraltes de hasta 18 pulgadas (457 mm) y los espesores pueden se de hasta 0.5 pulgadas (13 mm).

Los miembros estructurales se clasifican en dos tipos: miembros primarios y secundarios, según su importancia para preservar la seguridad de la estructura. Se considera a las trabes y columnas que forman los marcos principales como miembros primarios, y como secundarios a los polines, contravientos, contraflambeos (Sag Rods), laminas de cubierta o muro, etc.

Los perfiles laminados en frio se utilizan en ciertos casos como miembros primarios, principalmente en estructuras de edificios de poca altura, pero en estructuraciones lo más común es que la estructura principal (miembros primarios) sean perfiles formados en caliente y la estructura secundaria (miembros secundarios) perfiles laminados en frio (polines, joists, decks o paneles). Los dos tipos de perfiles deben de trabajar en conjunto y de forma complementaria, para así poder aprovechar las ventajas de cada uno y producir un diseño económico e integral.

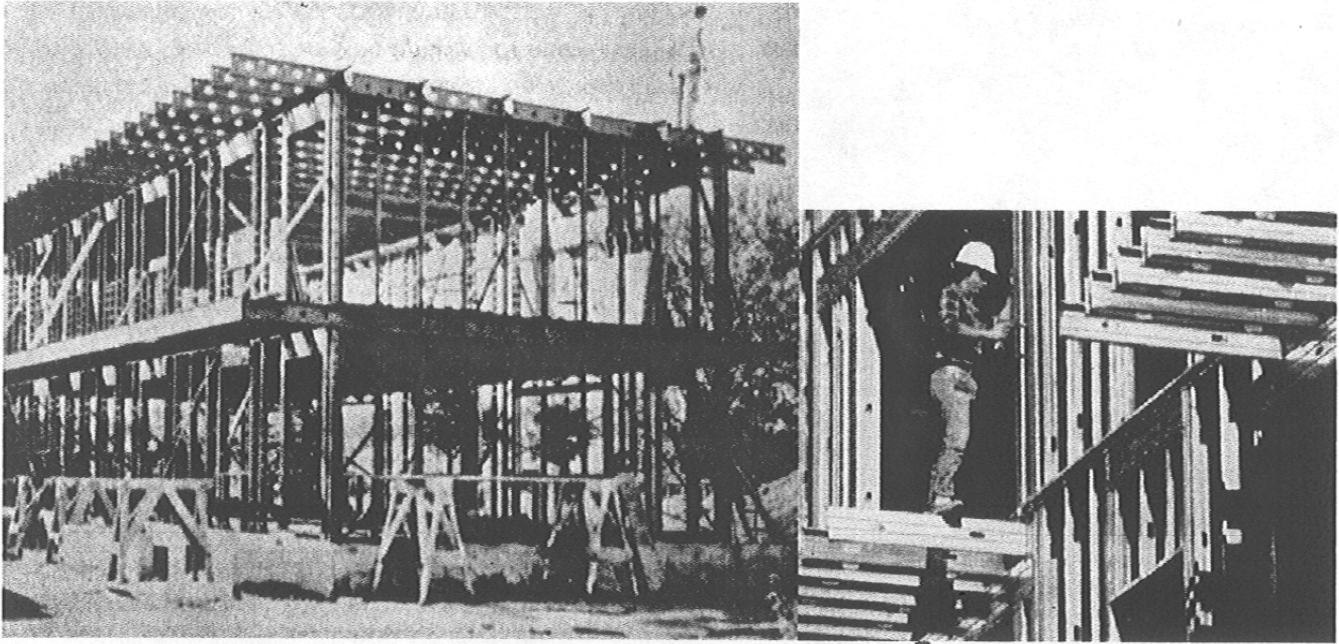


Fig. 2.3 Estructuras de baja altura compuestas en su totalidad por perfiles laminados en frío

Los perfiles con agujeros prefabricado son cada vez más comunes, los agujeros son hechos por el fabricante con dimensiones y espaciados estandarizados. La Fig. 2.3 (a) y (b) muestran perfiles con agujeros. Los orificios son usados para el paso de instalaciones que estaran ocultas en muros y pisos. De igual forma, son utilizados para formar estantes industriales o "racks" (ver Fig. 2.5), los agujeros sirven para el ensamble. Las perforaciones que se distinguen en la Fig. 2.4 no tienen una función especifica dentro del diseño, sin embargo, cumplen una función estética o arquitectónica (notese la variación en los diametros de los agujeros).



Fig. 2.4 Uso de perfiles agujerados para fines arquitectónicos en estructura principal de la cubierta.



Fig. 2.5 Estantería industrial o "racks" formados con perfiles laminados en frío.

Los miembros laminados en frío se usan también como elementos individuales en cuerdas y diagonales de estructuras triodéticas y en armaduras (ver Fig. 2.6), como estructuras principales en cubiertas cilíndricas (ver Fig. 2.7), y son usados también como miembros individuales de marcos como vigas, travesaños y largueros.

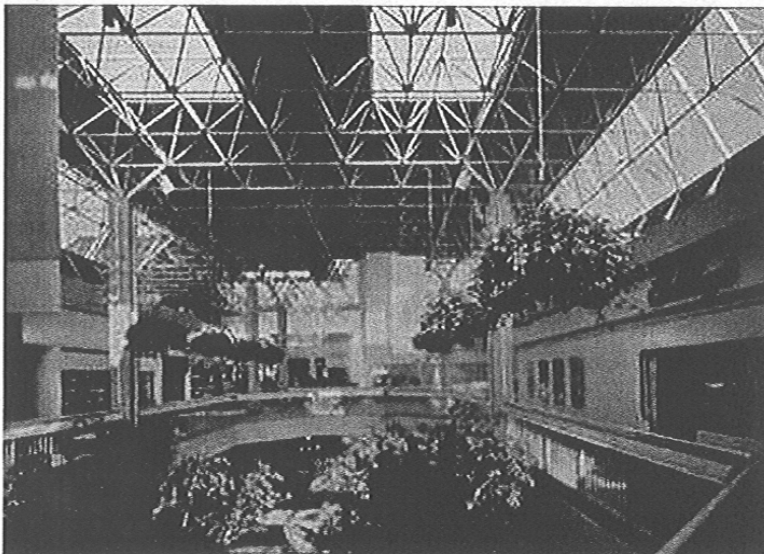


Fig. 2.6 Estructura triodética a base de perfiles laminados en frío

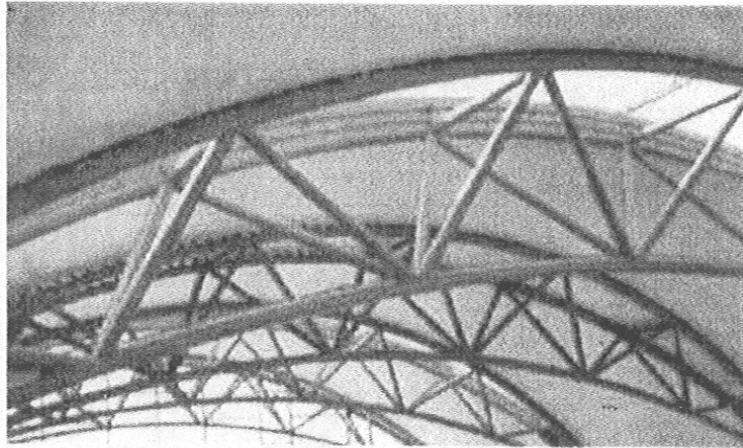


Fig. 2.7 Estructura para cubierta cilíndrica a base de perfiles laminados en frío.

2.3.2. Paneles y Decks

El uso mas frecuente que se les da a estos perfiles son en sistemas de pisos y cubierta y en paneles de muros. Estos perfiles se muestran en la Fig. 2.8

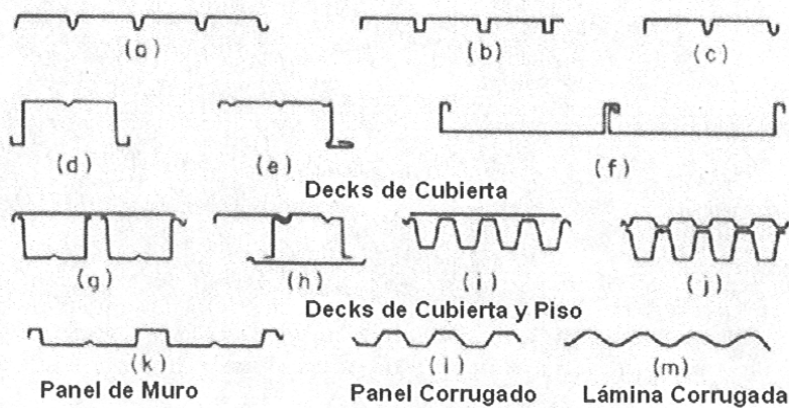


Fig. 2.8 Paneles y decks laminados en frío

Las dimensiones de los paneles y decks varían desde 1.5 a 7.5 pulgadas (38 a 191 mm) de peralte y de 0.018 a 0.075 (0.5 a 1.9 mm) de espesor. Las distancias comunes entre valles para láminas corrugadas son de 1.5 a 3 plg (32 a 76 mm) y los peraltes van desde 0.25 a 1.0 plg (6.4 a 15 mm). Cabe señalar que hoy día las variaciones de estas dimensiones son muy usuales.

Estos perfiles tienen la capacidad de trabajar en conjunto con el concreto. En estos casos el deck trabaja como refuerzo primario a flexión para sistema de piso de concreto. Además, sirven como plataforma de trabajo para colar los pisos. La Fig. 2.9 ilustra sistemas de pisos a base de deck y joist y estructura laminada en caliente.

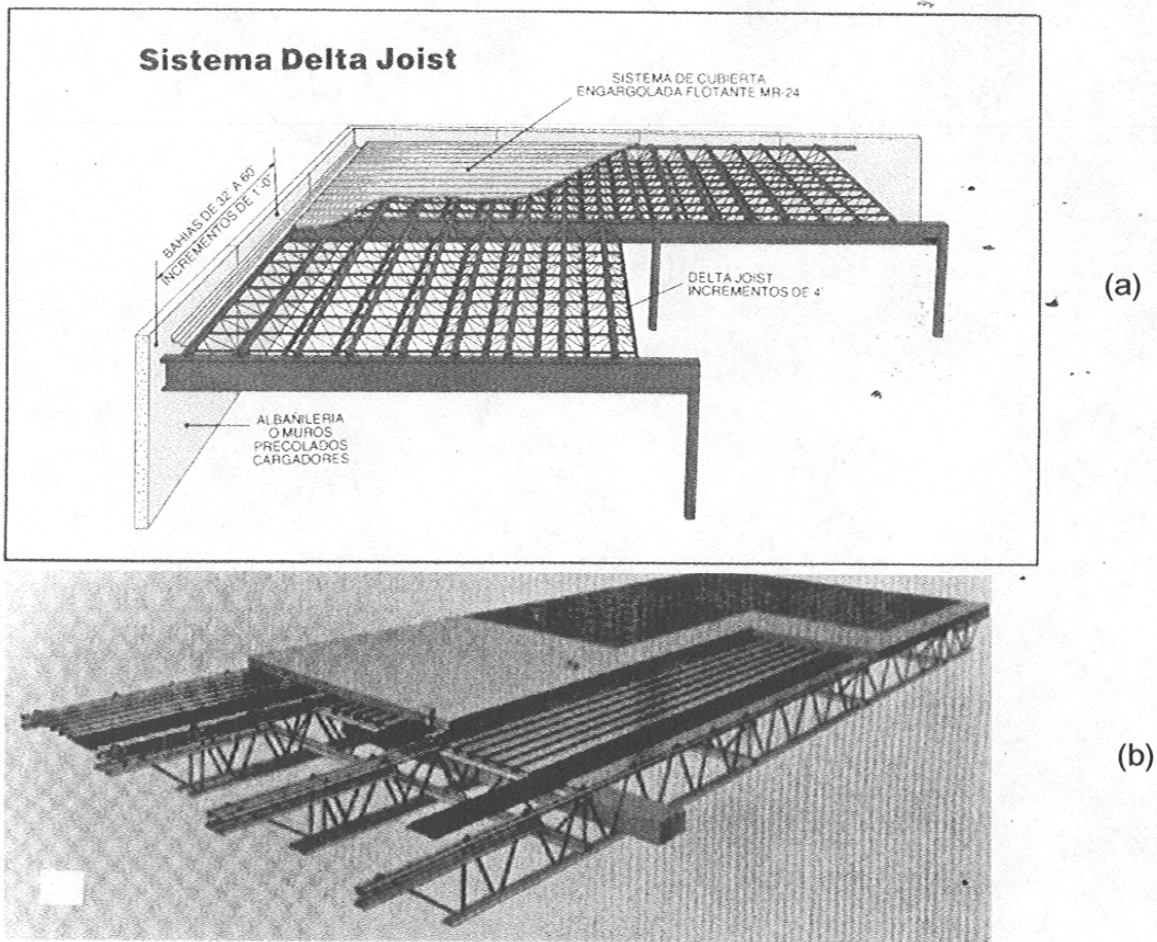


Fig. 2.9 (a) Sistema de piso de concreto con deck de lámina actuando como refuerzo primario del concreto. (b) Sistema de piso con estructura de acero a base de joist laminado en frío.

Para usos mas complejos se han creado sistemas de deck para cubierta en forma de hipérbolas paraboloides, láminas cilíndricas, láminas dobladas, láminas engargoladas con costuras sobresalientes (ver Fig. 2.11 y Fig. 2.12). Algunos de estos sistemas se pueden utilizar para diseñar membranas o cascarones; estos sistemas pueden transmitir directamente la carga a los apoyos (columnas, muros,

cimentación, otros), sin tener que utilizar estructura principal o secundaria (ver Fig. 2.10)

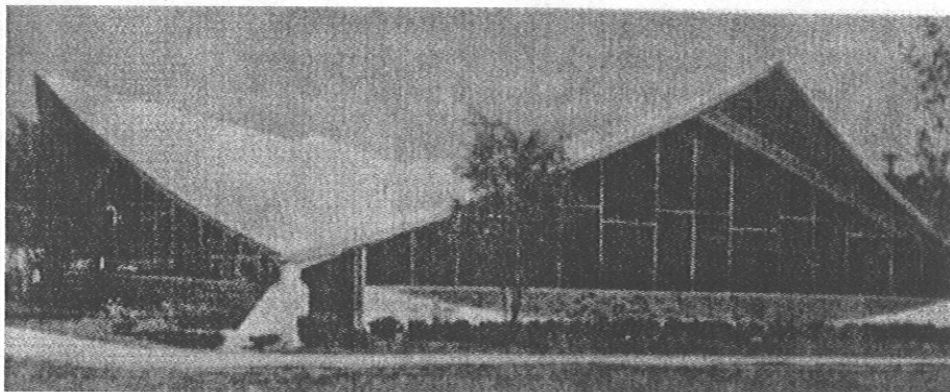


Fig. 2.10 Cubierta de cascarón hiperbólico paraboloides a base de lámina de acero

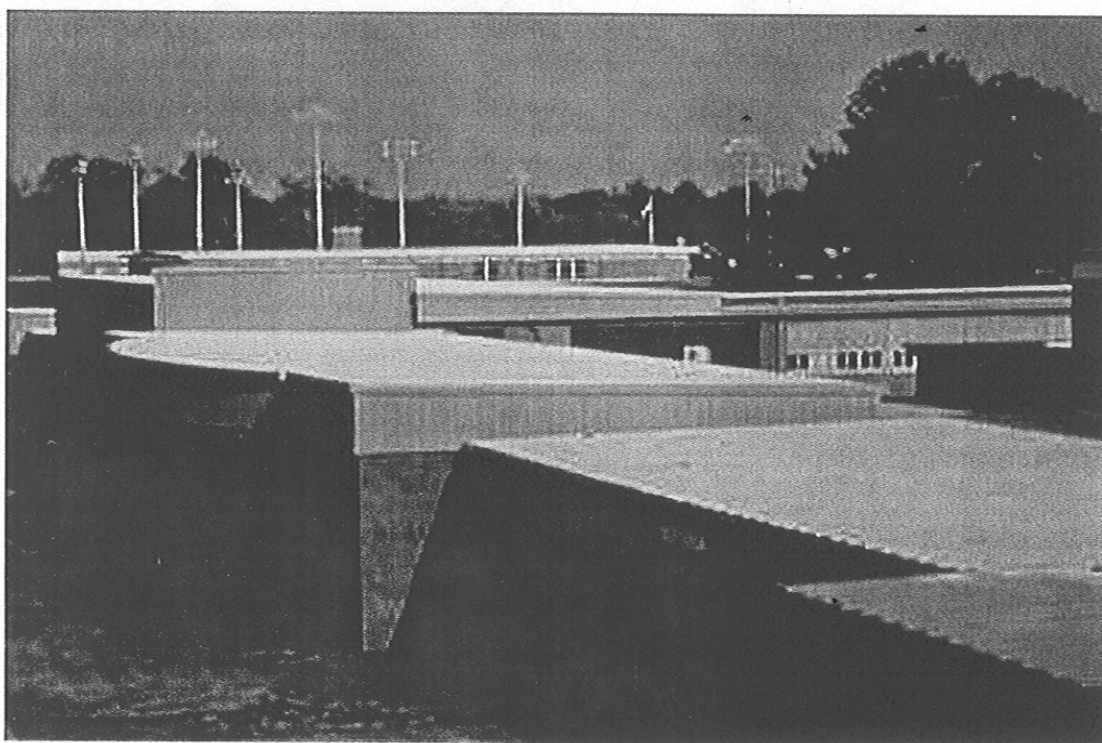


Fig. 2.11 Cubierta de cascarón a base de lámina de acero doblada.

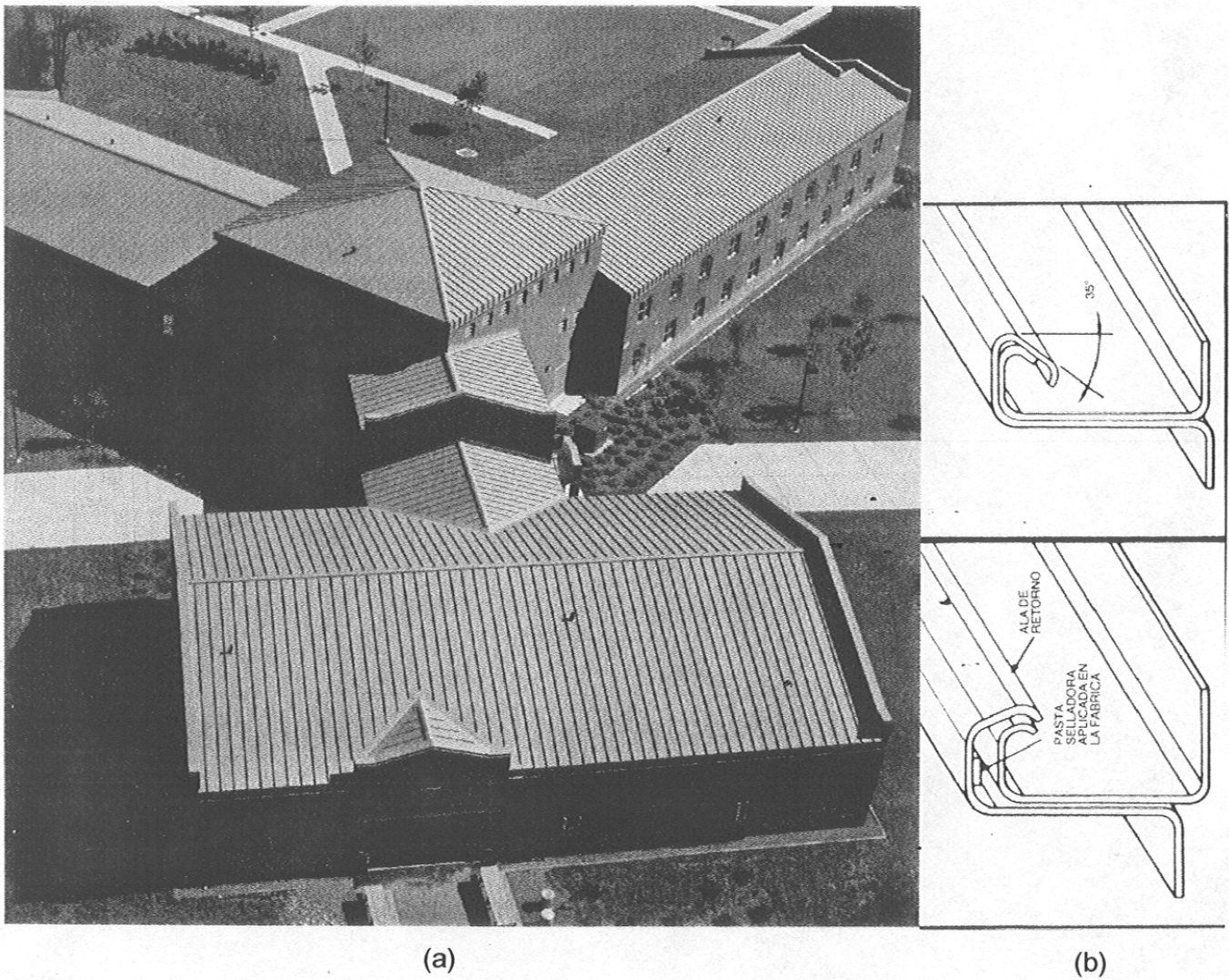


Fig. 2.12 Sistemas de cubierta a base de lámina engargolada con costuras sobresalientes; (a) vista panorámica de las edificaciones con cubiertas de lámina engargolada; (b) vista en detalle de las costuras.

Los paneles de lámina se pueden usar para cubrir total o parcialmente muros de edificios (ver Fig. 2.13). Para los últimos parciales de lámina la parte inferior del muro se fabrica de block, ladrillo o concreto. Este proceso de construcción es usado comúnmente en edificios de manufactura donde los posibles impactos de montacargas y maniobras de personal pueden provocar problemas de mantenimientos para muros de lámina.



(a)



(b)

Fig. 2.13 Edificios industriales con muros de panel de acero laminado en frío; (a) Edificio con muros casi completos a base de panel de lámina; (b) Edificio con muros fabricados parcialmente con panel de lámina.

2.4 Métodos de fabricación.

Una vez que se ha escogido el acero con el que se va a trabajar, el siguiente paso es laminarlo en perfiles necesarios. Los métodos principales para lograr el doblado en frío son: el de prensa y el rolado.

2.4.1. Método de prensa.

En el método de prensa, como el mostrado en la Fig. 2.14, hay una viga móvil en la parte superior, donde se encuentra conectada a una cama similar en la parte de abajo. La hoja de acero que será procesada se coloca en la parte inferior y la viga

desciende dándole forma al acero. El perfil final del componente se logra como resultado de una secuencia de operaciones como la anterior descrita.

El método de la prensa es generalmente más rentable para perfiles estructurales largos, pero económicamente solo es viable para corridas de producción cortas. La decisión de usar el método de la prensa depende tanto del tipo de perfil como de la complejidad que requiere obtenerlo.

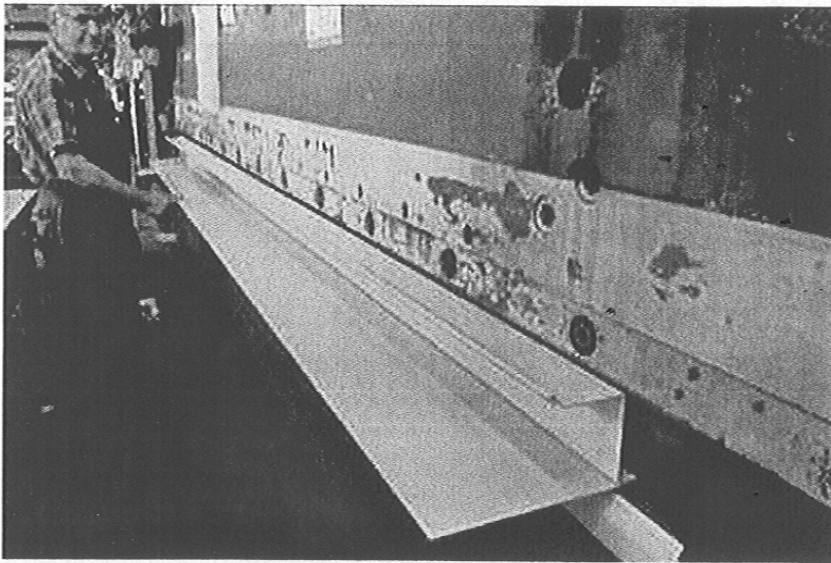


Fig. 2.14 Método de la Prensa: fabricación de perfiles y esquinas

Este método resulta económico si cumple con las siguientes condiciones:

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

2.4.2 Método de Rolado

El rolado en frío es el más común de los métodos de producción de paneles de cubiertas, techos y de muros. También es usado para la producción de

componentes estructurales como los perfiles canal, los perfiles Z y las secciones sombrero. Además, marcos de ventanas, puertas, canales y tuberías pueden ser roladas. Las secciones pueden ser usualmente hechas de una hoja de 1.50 mts. de ancho y de rollos de más de 1000 mts. de largo.

En el proceso de rolado, como se muestra en la Fig. 2.15 la hoja de acero es metida longitudinalmente a través de una serie de rodillos, cada uno trabaja la hoja progresivamente hasta que el perfil alcanza la forma deseada. Una sección simple puede requerir tan pocos como seis pares de rodillos, pero perfiles complicados pueden requerir tantos como 24 y hasta 30 pares de rodillos.

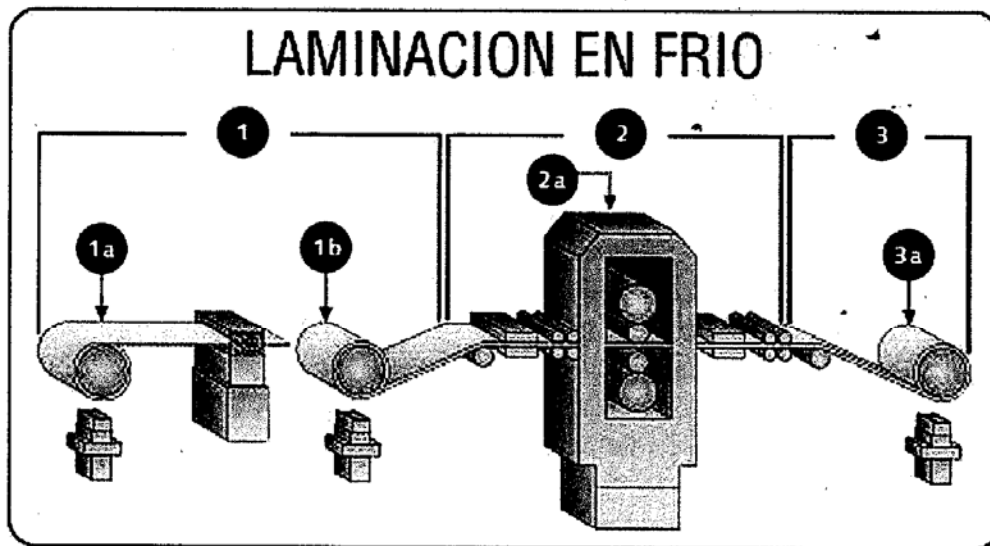
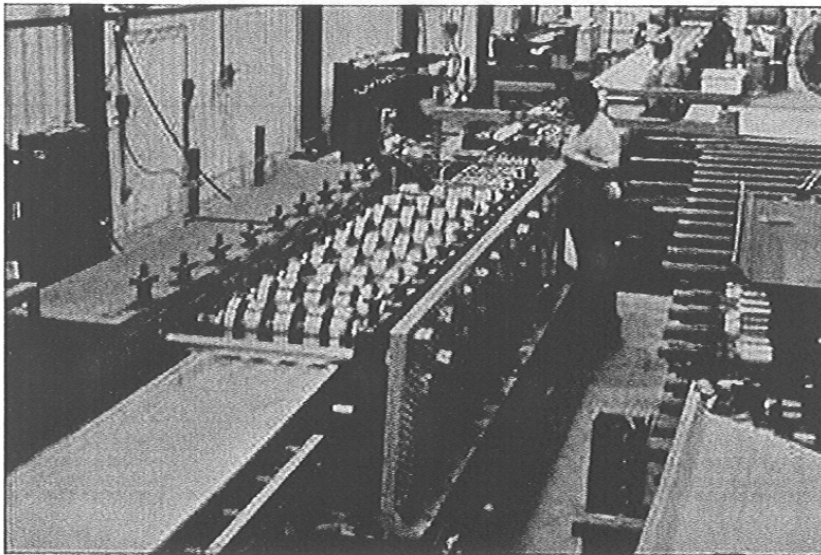


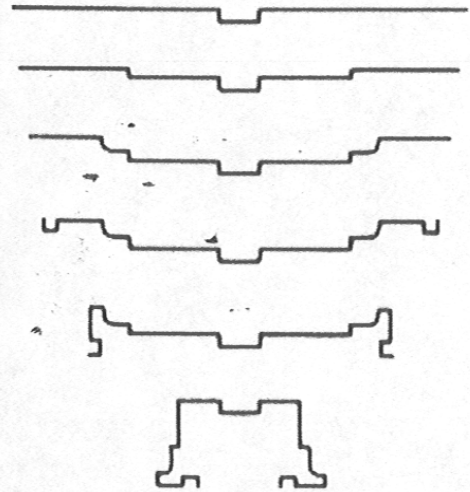
Fig. 2.15 Máquina roladora. Proceso de rolado

Cuando el fabricante requiere la producción de otro perfil que no sea el C y el Z, tiene que cambiar el conjunto de rodillos. Esto por lo general requiere de un tiempo considerable, Por lo que debe de tener en cuenta el volúmen de producción a realizar, para que el impacto de los costos por el cambio de pieza terminada no sea grande. La fabricación de secciones muy complicadas impacta directamente en el costo de las piezas. Un ejemplo de esto es el proceso de rolado de una columna arquitectónica ilustrada en la Fig. 2.16 (b). En este caso se observa de una manera sencilla como cada paso de los rodillos va dando una forma hasta llegar a la configuración final. Una vez terminado el proceso, la pieza será de 96 pulgadas (2.44

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



(a)



(b)

Fig. 2.16 (a) Máquina roladora; (b) Proceso de rolado de una columna arquitectónica

En este proceso de fabricación por este método, el acero puede ser introducido en longitudes muy grandes, a través de carretes de hasta 96 pulgadas (244 cm) de ancho por 3000 pies (915 metros) de longitud, con esto resulta un proceso acelerado. Las velocidades de rolado varían de 6 a 92 metros/minuto, pero las velocidades más frecuentes son de 23 a 46 metros/minuto. La sección ya terminada es cortada con una máquina de corte automática, las longitudes de corte varían de 6 a 12 metros, aunque éstas pueden variar. Para las dimensiones típicas de secciones fabricadas con máquinas de rolado se muestran en la Fig. 2.17

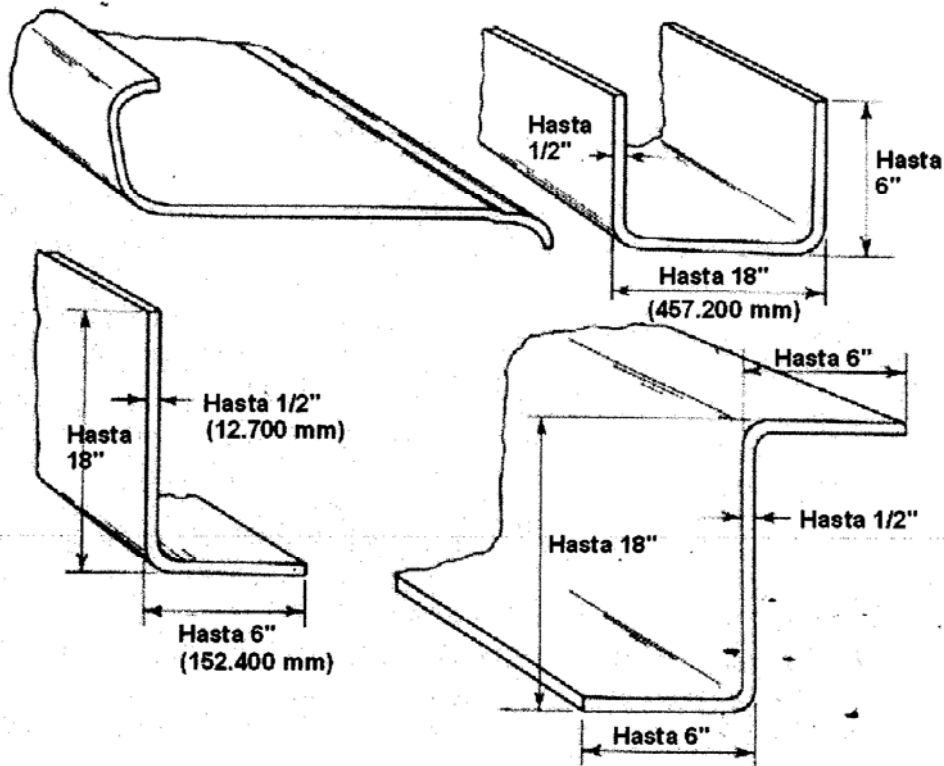


Fig. 2.17 Rango de dimensiones típicas para perfiles laminados en frío

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

1. Longitud de pieza, usando
maquina automática de corte: $\pm 1/64$ a $1/8$ " (0.4 a 3.2 mm).
2. Rectitud o torcedura: $\pm 1/64$ a $1/8$ " (0.4 a 3.2 mm) en 10 pies (3 m).
3. Dimensiones de la Seccion:
Fraccional: $\pm 1/64$ a $1/16$ " (0.4 a 1.6 mm).
Decimal: ± 0.005 a 0.015 " (0.1 a 0.4 mm).
4. Ángulos: ± 1 a 2 grados.

En la Tabla 2.1 se observa las tolerancia 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. 2.18

Tabla 2.1 Tolerancias de Fabricación de la MBMA

Dimensiones	Tolerancias, plg (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)
θ_1	3°	3°
θ_2	5°	5°
Ubicación de barrenos		
E ₁	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E ₂	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
E ₃	0.125 (3.18)	0.125 (3.18)
S ₁	0.063 (1.59)	0.063 (1.59)
S ₂	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 * t de diseño	

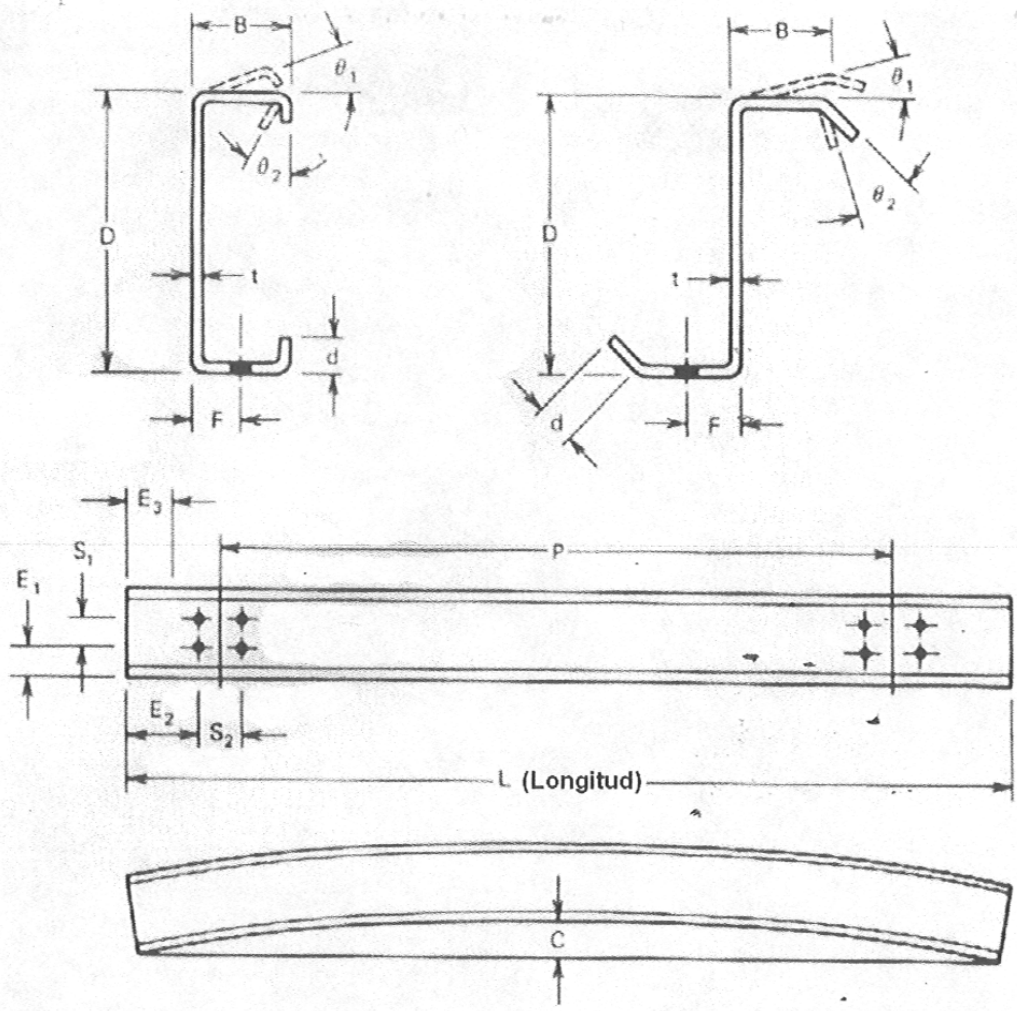


Fig. 2.18 Simbología usada en la Tabla 2.1

CAPÍTULO 3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE VIGAS BAJO COMBINACIÓN DE CORTANTE Y FLEXIÓN

Tanto las Secciones "I", "Z", "C", "T", sombrero, tubulares, decks y paneles de perfiles laminados en frío pueden ser usados como miembros sujetos a flexión y cortante. Los usos más comunes de dichos miembros en edificios son en sistemas de pisos, en sistemas de cubiertas ligeras, en sistemas de muro, entre otros. En sistemas de pisos estos miembros son llamados generalmente vigas. En el caso de los sistemas de cubierta ligera y muros se les conoce por el nombre de polines. Se usara el nombre de viga en este capitulo a todo miembro sujeto a flexión y cortante.

Este trabajo esta enfocado estrictamente a los Perfiles Laminados en Frío "Z" cuando dicha viga esta sujeta a la combinación de Flexión y Cortante. También se desarrollara una serie de Tablas de Diseño para el cálculo de combinación de flexión y cortante para casi todos los perfiles nacionales de Sección "Z", en el cual Ingenieros, investigadores, estudiantes y otros interesados podrán apoyarse en este trabajo para facilitar su Diseño o para continuar con otras investigaciones que sean de interés.

Para el diseño de vigas, se debe de considerar la capacidad para resistir momento y la rigidez del miembro calculada a partir de las propiedades efectivas de la sección. Esto se logra, evaluando el momento de inercia y módulo de sección considerando el ancho efectivo del patín a compresión y el peralte efectivo del alma. En este trabajo se considerara solo la resistencia a flexión debido a la fluencia de la sección, sin considerar los efectos de inestabilidad del patín de compresión, ya que dichos efectos no son requeridos para calcular la resistencia bajo combinación de cortante y flexión.

En el diseño de vigas a base de perfiles laminados en frío se deben considerar problemas tales como desfasamiento por cortante y rizados de patines. El rizado de patines es cuando una viga con patines inusualmente anchos es sujeta a flexión, la

porción del patín mas alejada del alma tiende a deformarse en dirección al eje neutro, generando como resultado una especie de rizo en el extremo del patín. Esto se debe al efecto de la curvatura longitudinal de la viga y a los esfuerzos de flexión en ambos patines.

En general, las vigas de claros grandes y con poco peralte son gobernadas por criterios de deformaciones máximas (flechas), las de claros medianos son gobernadas por criterios de resistencia a flexión y en las de claros cortos, los criterios de resistencia por cortante pueden llegar a ser críticos.

Haremos a continuación un repaso de los fundamentos teóricos y experimentales en los cuales se basan los procedimientos de cálculo publicados por el AISI en 1996 y 1999 aplicables a vigas sujetas a flexión y cortante. En los casos más importantes, vemos conveniente enunciar las Secciones del Reglamento tal y como vienen en dicha publicación. Cabe aclarar, como ya se dijo anteriormente, que los planteamientos aquí descritos buscan limitarse a los procedimientos de diseño de los perfiles zeta trabajando a flexión.

3.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS GENERALES.

Para comprender el comportamiento estructural de los Perfiles Laminados en Frío sujetos a flexión, es necesario indicar y definir alguna terminología en la que se basa las especificaciones del AISI, así como los criterios y métodos de diseño existentes, por lo cual citaremos aquellos términos relevantes en el uso y aplicación del procedimiento de diseño empleado en vigas.

1. Ancho plano (w). El ancho plano, w en el caso de los patines y h en el caso de las almas, se define como el ancho de la porción recta del elemento, excluyendo la porción doblada del mismo. En patines no atiesados, se le considera como la

distancia desde el final del doblado que lo une con el alma, hasta el extremo libre del patín.

2. Relación ancho espesor (w/t). Es la que existe entre el ancho plano del elemento con respecto a su espesor t , w/t para patines y h/t para las almas. El valor de t debe ser el espesor del acero, despreciando recubrimientos tales como pinturas o galvanizados. El AISI 1996 Sección A3.4 establece que el espesor mínimo sin recubrimientos de perfiles suministrados en obra no deberá ser menor al 95% del espesor usado en el diseño de los mismos, excepto en los dobleces, como esquinas, donde el espesor puede ser menor debido al efecto de laminado en frío. La reducción en espesor en estas regiones suele ser del orden del 1 al 3% y puede ser ignorado en los cálculos de propiedades del perfil. Además, la Sección B1.1 del AISI presenta valores máximos para la relación ancho espesor:
 - La relación w/t máxima será igual o menor a 60 en elementos atiesados a compresión, teniendo una orilla longitudinal conectada a un alma o patín y la otra orilla atiesada por un labio atizador, o sin atiesar.
 - La relación h/t máxima será igual o menor a 200 en almas no reforzadas.
3. Ancho efectivo de diseño b . Es el ancho reducido de un elemento usado para calcular las propiedades de flexión y compresión de perfiles estructurales.

El ancho efectivo de diseño b se determinará en base a las siguientes expresiones:

$$b = w \text{ cuando } \lambda \leq 0.673 \quad (3.1)$$

$$b = \rho w \text{ cuando } \lambda \geq 0.673 \quad b = \rho w \quad (3.2)$$

donde:

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \leq 1.0 \quad (3.3)$$

y,

$$\lambda = \left(\frac{1.052}{\sqrt{k}} \right) \left(\frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} \quad (3.4)$$

- ρ = factor de reducción
 t = Espesor del elemento sujeto a compresión uniforme
 f = Esfuerzo en el acero F_y
 w = Ancho plano
 k = Coeficiente de pandeo
 E = Módulo de Elasticidad

3. Pandeo Latero-Torsional. El pandeo latero-torsional es un modo de pandeo donde elementos a compresión presentan deformación lateral y torcimiento al mismo tiempo. Este modo de pandeo es crítico sobre todo en perfiles donde el centro de cortante no coincide con el centroide.

Para la realización de este trabajo no se tomara en cuenta el efecto de pandeo latero-torsional en el diseño.

4. Sección simétrica con respecto a un punto. Perfiles cuya geometría es simétrica con respecto a un punto que normalmente coincide con el centroide de la sección. Un perfil Z con patines de idéntica dimensión es un ejemplo de dicha sección.

3.1.1 Peralte efectivo de almas.

En el caso de las almas y a diferencia de los patines, se presenta una variación lineal en la distribución de esfuerzos, lo que se conoce como gradiente de esfuerzos. En base a un análisis experimental y con el objetivo de uniformizar procedimientos, se introdujo el concepto de peralte efectivo de almas. La característica de las almas es que una porción de la parte sujeta a compresión por flexión es la que deja de ser efectiva, de modo que dicha parte se divide en tres, b_1 y b_2 que son efectivas, y una tercera en medio de éstas que es la considerada como no efectiva. Se presenta a continuación la Sección B2.3 del AISI, donde se describe el procedimiento para calcular el peralte efectivo de almas:

Para Almas y Elementos atiesados sujetos a gradiente de esfuerzos.

Los anchos efectivos b_1 y b_2 , como se ilustran en la figura 3.1, se deberán determinar mediante las siguientes expresiones:

$$b_1 = b_e / (3 - \Psi) \quad (3.5)$$

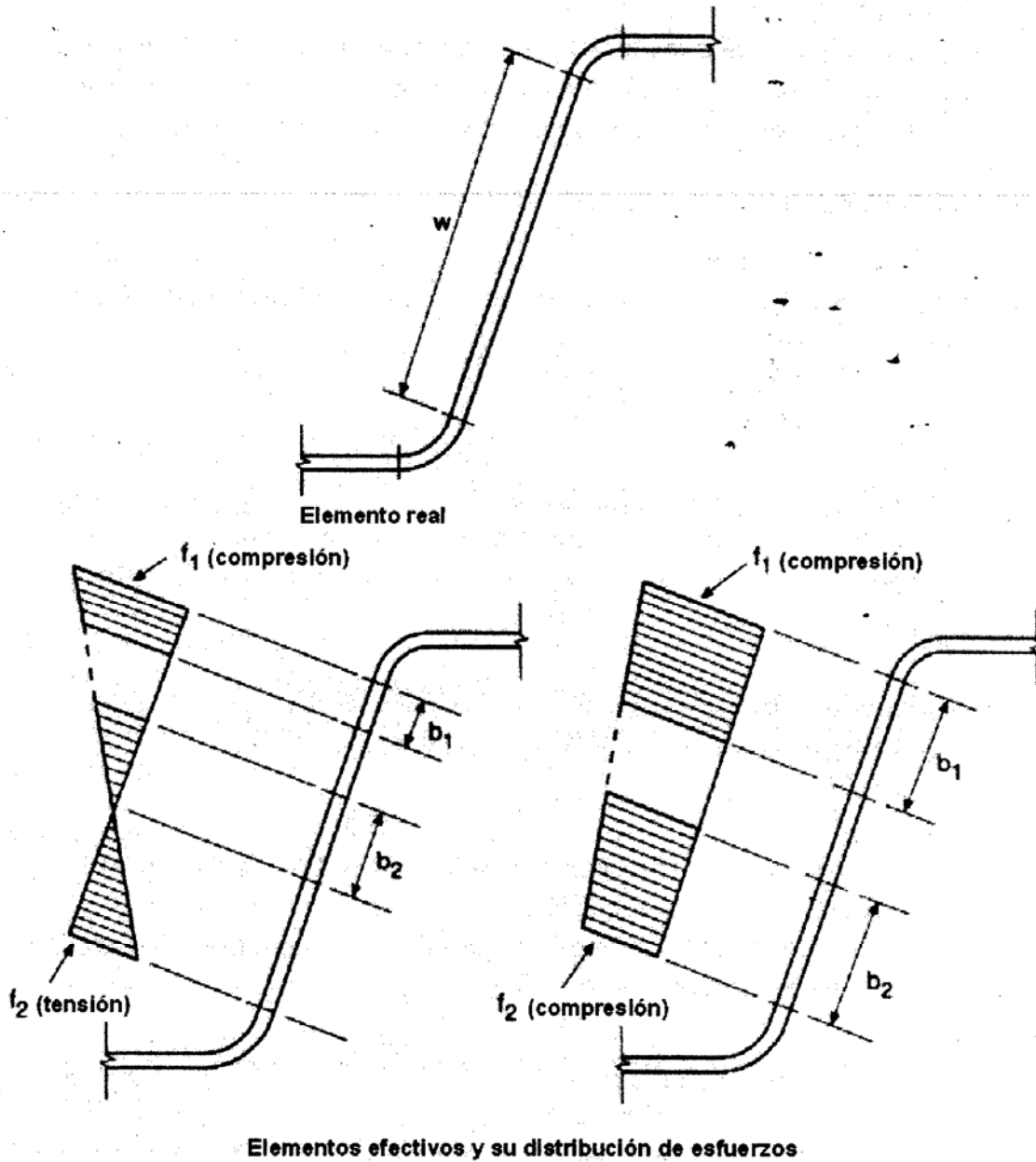


Fig. 3.1 Elemento a compresión atiesado sujeto a gradiente de esfuerzos

b_2 se determina de la Ec. (3.5) o (3.6), dependiendo del valor de Ψ .

Para $\Psi \leq -0.236, b_2 = b_e / 2$ (3.6)



Donde $b_1 + b_2$ no deberá exceder la porción en compresión del alma conforme a la sección efectiva.

$$\text{Para } \Psi > -0.236, b_2 = b_e - b_1 \quad (3.7)$$

Aquí, b_e es el ancho efectivo calculado en base a las ecuaciones (3.1-3.4) sustituyendo f por f_1 . Como se muestra en la figura, f_1 y f_2 son los esfuerzos máximos en los extremos del alma, ya sea positivos o negativos. f_1 en compresión (+) y f_2 puede ser en compresión o en tensión (-), si ambos son de compresión, entonces $f_1 > f_2$.

El valor de k se determina con la siguiente expresión:

$$k = 4 + 2(1 - \Psi)^3 + 2(1 - \Psi) \quad (3.8)$$

$$\text{y, } \Psi = f_1 / f_2 \quad (3.9)$$

3.1.2. Elementos a compresión no atiesados.

Al analizar los elementos a compresión no atiesados, podemos distinguir tres rangos de falla: el rango de resistencia por fluencia, donde el elemento alcanza el esfuerzo crítico; el rango de pandeo elástico donde no se alcanza la fluencia del elemento y el esfuerzo crítico está dado por la ecuación (3.10) y k se toma conservadoramente como 0.43. Entre estos dos rangos se encuentra el de pandeo inelástico, que ocurre cuando una porción del elemento alcanza la fluencia al ocurrir el pandeo. El AISI propone obtener el ancho efectivo de elementos no atiesados de forma similar a los atiesados de acuerdo a la Sección 3.5.1 (a), excepto que $k = 0.43$ y w es ahora la distancia entre el extremo libre del elemento hasta donde empieza el doblez.

$$f_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \mu)(w/t)^2} \quad (3.10)$$

3.1.3. Elementos no atiesados sujetos a gradiente de esfuerzos.

Existen casos en que elementos no atiesados, como labios atiesadores y otros se encuentran en forma perpendicular al eje neutro, por lo que su distribución de esfuerzos varía linealmente. Estos casos son previstos en la Sección B3.2 del AISI, donde se uniformiza el esfuerzo como el máximo al que está sujeto el elemento.

En los elementos no atiesados y atiesadores de borde sujetos a gradiente de esfuerzos el ancho efectivo b , se determinará de acuerdo a la Sección B2.1 con un esfuerzo $f = f_3$ en el atiesador de borde, tal como lo ilustra la Fig. 3.2 y $k = 0.43$.

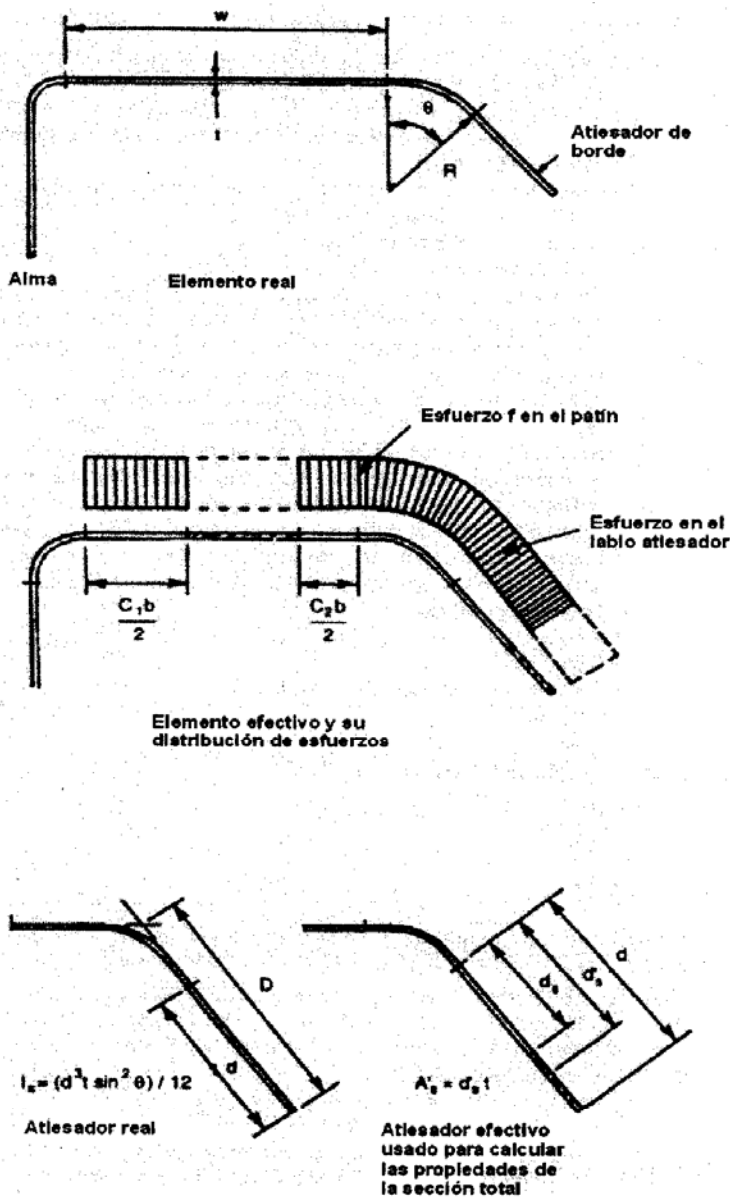


Fig. 3.2 Elementos a compresión con atiesadores de borde

3.1.4. Elementos sujetos a compresión uniforme con atiesador de borde.

Los atiesadores de borde son utilizados para proveer de estabilidad a lo largo del borde del patín, incrementando el esfuerzo de pandeo. A partir de búsquedas de diversa índole, el AISI 1996 propuso especificaciones para elementos atiesados, parcialmente atiesados y no atiesados. A continuación se presentan dichas especificaciones, correspondientes a la Sección 3.1.4:

En elementos sujetos a compresión uniforme con un atiesador de borde:

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

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

$$b = w$$

$$d_s = d'_s \quad (\text{para un atiesador de labio})$$

$$A_s = A'_s \quad (\text{para atiesadores con otra geometría})$$

Caso II: para $S/3 < w/t < S$:

$$I_a / t^4 = 399 \left[(w/t) / S - \sqrt{k_u / 4} \right]^3 \quad (3.11)$$

$$n = 1 / 2$$

$$C_2 = I_s / I_a \leq 1 \quad (3.12)$$

$$C_1 = 2 - C_2 \quad (3.13)$$

b deberá ser calculada de acuerdo a la Sección 3.5.1 (a),

donde:

$$k = C_2^n (k_a - k_u) + k_u \quad (3.14)$$

$$k_u = 0.43$$

Para labios atiesadores simples con $140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$

y $D/w \leq 0.80$, donde θ se ilustra en la Fig. 3.2

$$k_a = 5.25 - 5(D/w) \leq 4.0 \quad (3.15)$$

$$d_s = C_2 d'_s \quad (3.16)$$

Para atiesadores con otra geometría:

$$k_a = 4.0$$

$$A_s = C_2 A'_s \quad (3.17)$$

Caso III para $w/t \geq S$:

$$I_a / t^4 = [115(w/t)/S] + 5 \quad (3.18)$$

C_1, C_2, b, k, d_s, A_s se calculan acorde al Caso II con

$$n = 1/3$$

Donde:

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

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

C_1 = coeficiente definido en la Fig. 3.2

C_2 = coeficiente definido en la Fig. 3.2

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 deberá usar para calcular las propiedades efectivas del elemento.

d'_s = ancho efectivo del atiesador calculado acorde a la Sección 3.5.1(a) con $k = 0.43$

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

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.

b = ancho efectivo de diseño.

K = coeficiente de pandeo.

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

w, t = ancho plano y espesor del elemento de compresión respectivamente.

Para el atiesador ilustrado en la Fig. 3.2 I_s y A'_s están dadas por:

$$I_s = (d^3 t \text{sen}^2 \theta) / 12 \quad (3.19)$$

$$A'_s = d' s t \quad (3.20)$$

La aplicabilidad de la Sección 3.1.4 es para cuando $d/t \leq 14$, y se recomienda utilizarla sólo en caso de labios atiesadores simples.

La distribución de esfuerzos longitudinales se ilustran en la Fig. 3.3 para los casos I, II y III.

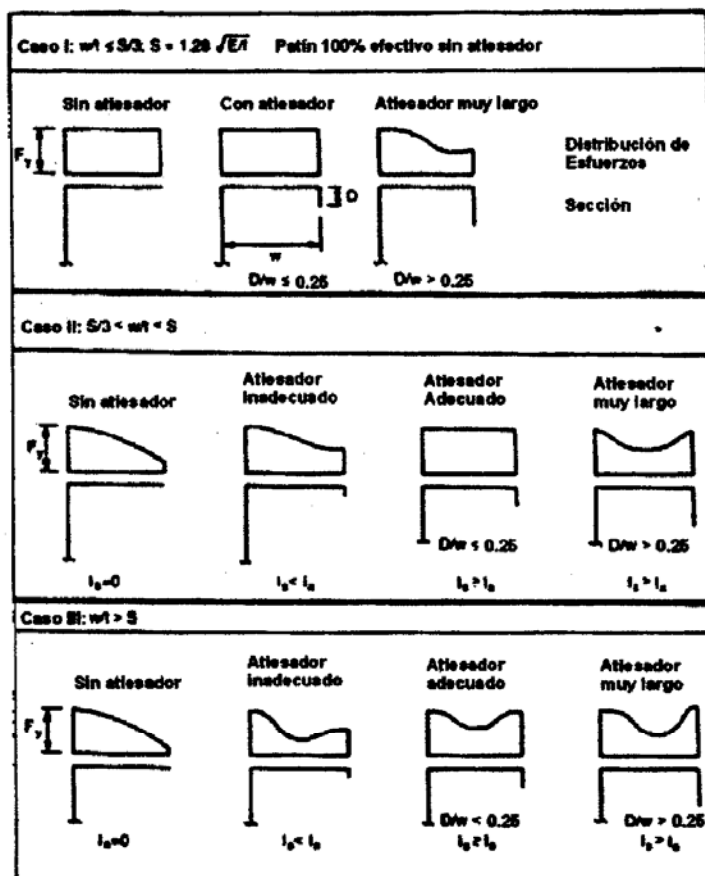


Fig. 3.3 Ilustración de los criterios de diseño para atiesadores de borde.

3.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Los miembros sujetos a flexión y cortante son usados para soportar cargas transversales o momentos aplicados. Los perfiles zeta laminados en frío pueden ser usados como miembros sujetos a flexión y cortante donde el uso más común de dichos miembros en edificios es en sistemas de pisos, en sistemas de cubierta ligera, en sistemas de muro, etc. En sistemas de pisos estos miembros son llamados generalmente vigas y en el caso de sistemas de cubierta ligera y muros se les conoce por el nombre de polines. Se hace mención de los siguientes conceptos para una mejor comprensión del diseño de estos perfiles:

- **Esfuerzo de Fluencia.** El esfuerzo de fluencia, F_y o F_{sy} , tal como se usa en el AISI 1996 que es fuerza por unidad de área.
- **Esfuerzo de Fluencia Mínimo.** Es el valor mínimo del esfuerzo de fluencia, el cual debe de ser igualado o excedido en una prueba de carga como requerimiento para aceptar un lote de acero estructural a ser usado en la fabricación de perfiles laminados en frío diseñados para dicho esfuerzo de fluencia.
- **Resistencia Nominal.** La capacidad de una estructura o componente para resistir los efectos de las cargas, determinada a partir de cálculos basados en las propiedades de los materiales y geométricas y en ecuaciones derivadas a partir de teorías aceptadas de la mecánica estructural o mediante la generación de pruebas de campo o de laboratorios con modelos a escala. En general, las ecuaciones de diseño para calcular la resistencia nominal son independientes del método de diseño considerado (ASD o LRFD). El AISI 1996 provee dichas ecuaciones y los factores de seguridad Ω o de resistencia ϕ correspondientes a cada método.

- **Resistencia de Diseño.** Es la resistencia factorizada, ϕR_n o resistencia permisible, R_n/Ω (carga axial, momento, cortante, según el caso) provista para un perfil estructural según el Método LRFD o ASD, respectivamente.
- **Resistencia Requerida.** Es el efecto de carga (carga axial, momento, cortante, según el caso) actuando en un componente estructural, determinado a partir de un análisis estructural basado en cargas factorizadas o nominales, según se trate del método LRFD o ASD, respectivamente, usando las combinaciones de carga más desfavorables que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir durante la vida útil del componente estructural.

3.2.1 Diseño por Esfuerzos Permisibles (ASD).

El ASD ha sido desde 1946 el método de diseño para perfiles estructurales laminados en frío reconocido por el AISI. El AISI 1996 aun reconoce a ASD en igualdad con LRFD.

En ASD, las resistencias requeridas (momentos flexionantes, fuerzas axiales, fuerzas cortantes, etc.) en los elementos estructurales son calculadas por procedimientos aceptados del análisis estructural a partir todas la combinaciones de cargas aplicables consideradas en la Sección A5.1.2 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,

$$R_a = \frac{R_n}{\Omega} \quad (3.21)$$

Donde R_a = Resistencia Permisible de Diseño.

R_n = Resistencia Nominal.

Ω = 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 cargas aplicadas. Los valores de los factores de seguridad para las diversas resistencias requeridas se encuentran prescritos en las especificaciones de diseño. 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 en las cargas nominales, para todas las combinaciones de cargas aplicables, esto es,

$$R_a \geq R \quad (3.22)$$

3.2.2.1 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 en 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 a objetos móviles, muros móviles y cargas temporales a las que estará sujeta la estructura durante su mantenimiento. L puede incluir cualquier reducción permitida por las especificaciones de diseño. Si la resistencia al impacto debe de 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 estas.

W = Cargas de viento.

3.2.2 Diseño de Factor de Carga y Resistencia (LRFD).

El método LRFD esta basado en el criterio de estados límites, de hecho, a éste método se le conoce también como método de diseño por estados limites o LSD (por sus siglas en inglés: "Limit States Design"). Un estado limite 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 en alcanzar la resistencia por fluencia, por pandeo, por post-pandeo, 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.

Como se menciona anteriormente, 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 limite de resistencia y que satisface los requisitos de seguridad estructural de las especificaciones del AISI 1996 es la siguiente:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (3.23)$$



Donde R_n = Resistencia nominal

Q_i = Efectos de carga

ϕ = Factor de resistencia correspondiente a R_n

γ_i = Factor de carga correspondiente a Q_i

ϕR_n = Resistencia de diseño

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

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 imprecisión y variabilidad en la estimación de resistencias y cargas. EL método LRFD permite el reconocimiento explícito de estos aspectos en las ecuaciones de diseño, al afectar las cargas con factores 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.

En las tablas de diseño para calcular la resistencia a la combinación de cortante y flexión del apartado 3.4 se desarrollará por los dos métodos: ASD y LRFD.

3.3 MOMENTO NOMINAL DE LA SECCIÓN.

La Sección C3.11 del AISI 1996 considera dos procedimientos para el cálculo de la resistencia de elementos a flexión. El Procedimiento I se basa en el "Inicio de Influencia" y el Procedimiento II en la "Capacidad Inelástica de Reserva". En este documento se hará uso del Procedimiento I.

3.3.1. Inicio de Fluencia

En este procedimiento el Momento Nominal M_n , de la sección es igual al momento de fluencia efectivo, M_y , el cual es determinado a partir de las áreas efectivas tanto de los patines como del alma de la viga.

El momento de fluencia M_y es aquel momento que ocasiona que el esfuerzo en la fibra extrema (ya sea de tensión, compresión o ambas) alcance el esfuerzo de fluencia del acero. En la figura 3.4 se puede apreciar diferentes tipos de la distribución de esfuerzos para el momento de fluencia basada en las diferentes localización del eje neutro.

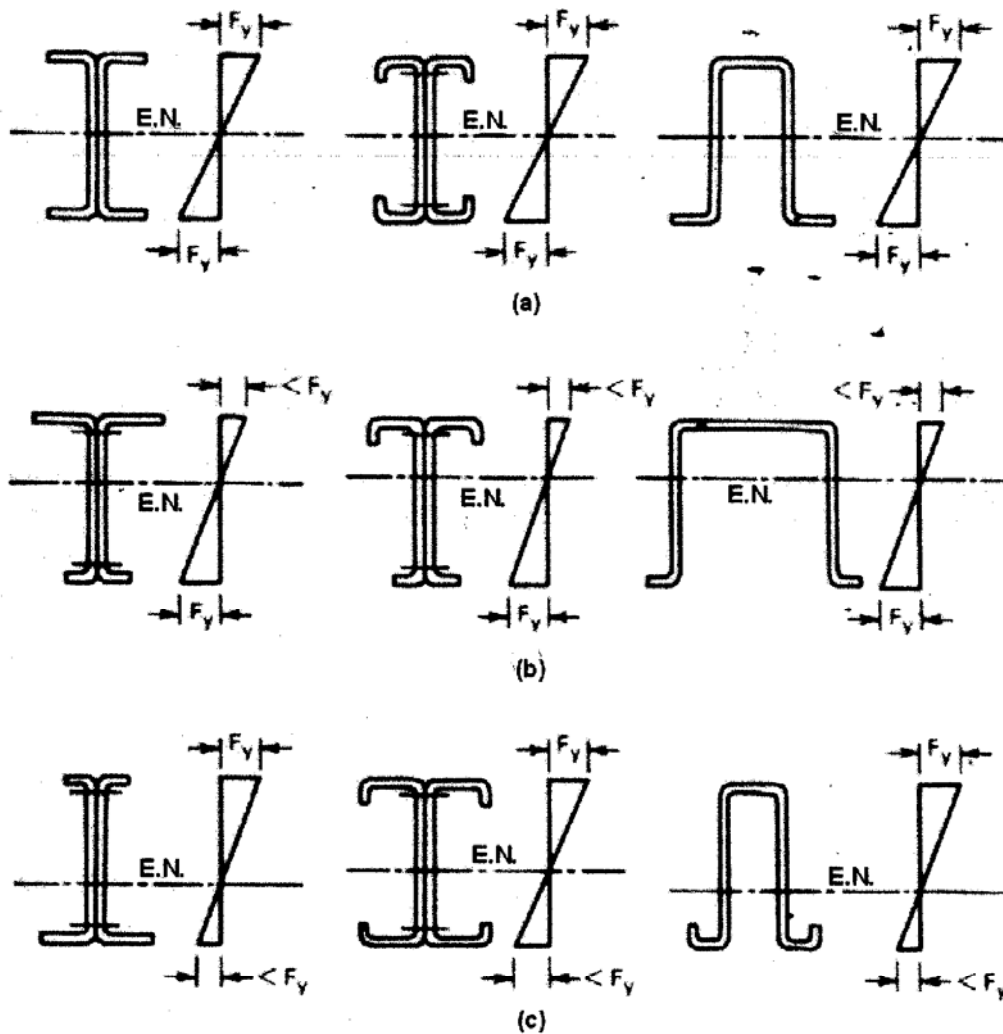


Fig. 3.4 Diferentes distribuciones del momento bajo fluencia.

Basado en esto, la resistencia nominal de la sección para el inicio de fluencia se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$M_n = M_y = S_e F_y \quad (3.24)$$

Donde: F_y = Esfuerzo de fluencia de diseño.

S_e = Módulo de sección elástico de la sección efectiva calculada con la fibra extrema de compresión o de tensión bajo fluencia (F_f).

Para los perfiles laminados en frío ésta se puede calcular con alguno de los siguientes casos.

1. Si el eje neutro se localiza más cerca del patín de tensión que del patín de compresión, el máximo esfuerzo ocurrirá en el patín de compresión, por lo que la relación de esbeltez del patín λ y el ancho efectivo b_e del patín de compresión se determinará a partir de la relación w/t , $f = F_y$ y la siguiente ecuaciones (3.1-3.4).
2. Si el eje neutro se localiza más cerca al patín de compresión que al patín de tensión, el máximo esfuerzo ocurrirá en el patín de tensión. En este caso, el valor del esfuerzo en el patín de compresión dependerá de donde se localiza el eje neutro, el cual se obtiene determinando los anchos efectivos de la sección.

En el Apéndice A se incluye el procedimiento a seguir para obtener la S_{ex} de los perfiles, usando las ecuaciones hasta aquí descritas bajo el método de "Inicio de Fluencia". Se anexa asimismo un diagrama de flujo para una mejor comprensión de método.

La Sección C3.1.1. del AISI 1996 establece factores de seguridad y resistencia, los cuales se aplicarán al M_n dado por la Ec. (3.24) para obtener los siguientes momentos de diseño:

1. Método ASD: $M_a = M_n / \Omega_b \geq \sum M_i$ (3.25)

2. Método LRFD: $\phi_t M_n \geq \sum \gamma_i M_i$ (3.26)

donde: M_a = Momento flexionante permisible.

M_n = Resistencia nominal a flexión.

Ω_b = Factor de seguridad para flexión

ϕ_b = Factor de resistencia por flexión.

En donde los factores toman los valores dependiendo de los siguientes casos:

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

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

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

3.3.2 Cortante.

Para el diseño de vigas, el esfuerzo cortante en la sección puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$f_v = \frac{VQ}{It} \quad (3.27)$$

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 del punto donde se desea calcular el cortante, 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 calcula el cortante.

La Ec. (3.27) proporciona valores exactos en cualquier parte de la sección, sin embargo para propósitos de diseño es muy usada la siguiente ecuación:

$$f_v = \frac{V}{ht\omega} \quad (3.28)$$

donde: h = peralte de la porción plana del alma medida en el plano del alma.

t = espesor de la sección donde se calcula el cortante.

3.3.2.1 Resistencia Nominal por Cortante de Almas sin Agujeros.

Cuando la relación h/t es pequeña en almas sujetas a esfuerzo cortante, la magnitud del cortante de dicha viga será generalmente gobernada por fluencia, con un esfuerzo máximo de $F_y/\sqrt{3}$ en el eje neutro. El esfuerzo nominal a cortante, τ_n , será:

$$\tau_n = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \approx 0.60F_y \quad (3.29)$$

La resistencia nominal a cortante por fluencia, V_n , se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V_n = 0.60 F_y ht \quad (3.30)$$

Cuando en el alma la relación h/t grandes, la magnitud por cortante de esta estará regida por pandeo por cortante. En base a estudios sobre el pandeo por cortante en placas infinitamente largas, se sabe que la placa desarrolla una serie de ondas inclinadas, como se muestra en la Fig. 3.6. El esfuerzo crítico de pandeo elástico por cortante se calcula mediante la ecuación:

$$\tau_{cr} = \frac{k_v \pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.31)$$

donde: k_v = coeficiente de pandeo por cortante

E = módulo de elasticidad del acero

μ = relación de Poisson.

h = peralte de la placa

t = espesor de la placa

En la ecuación anterior (3.31) el valor de k_v , depende del tipo de apoyo y la relación de aspecto a/h (ver Fig. 3.5). Para placas largas el valor de $k_v = 5.34$ se usa cuando hay apoyos simples y para apoyos fijos $k_v = 8.98$.

Si se sustituye el valor de $\mu = 0.30$ en la ecuación (3.31) se obtiene:

$$\tau_{cr} = \frac{0.905k_v E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \quad (3.32)$$

La resistencia nominal a cortante para pandeo elástico se calcula como:

$$V_n = \frac{0.905k_v E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} ht = \frac{0.905k_v Et^3}{h} \quad (3.33)$$

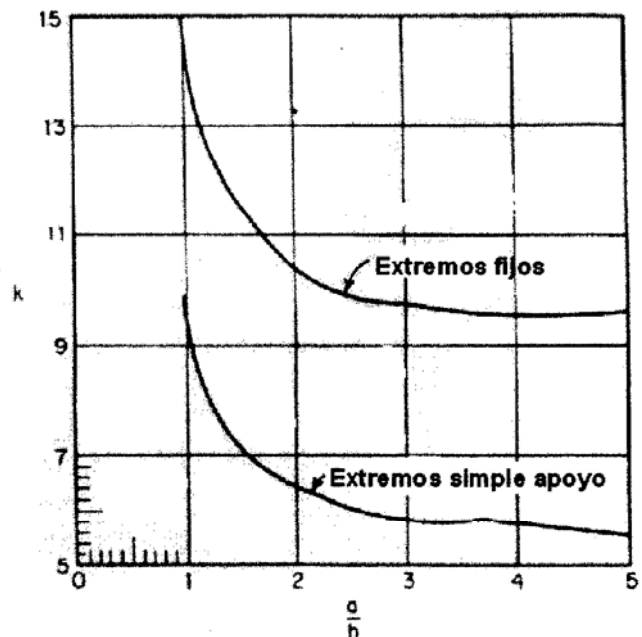


Fig. 3.5 Variación del coeficiente de pandeo por Cortante con respecto a la relación de aspecto a/h .

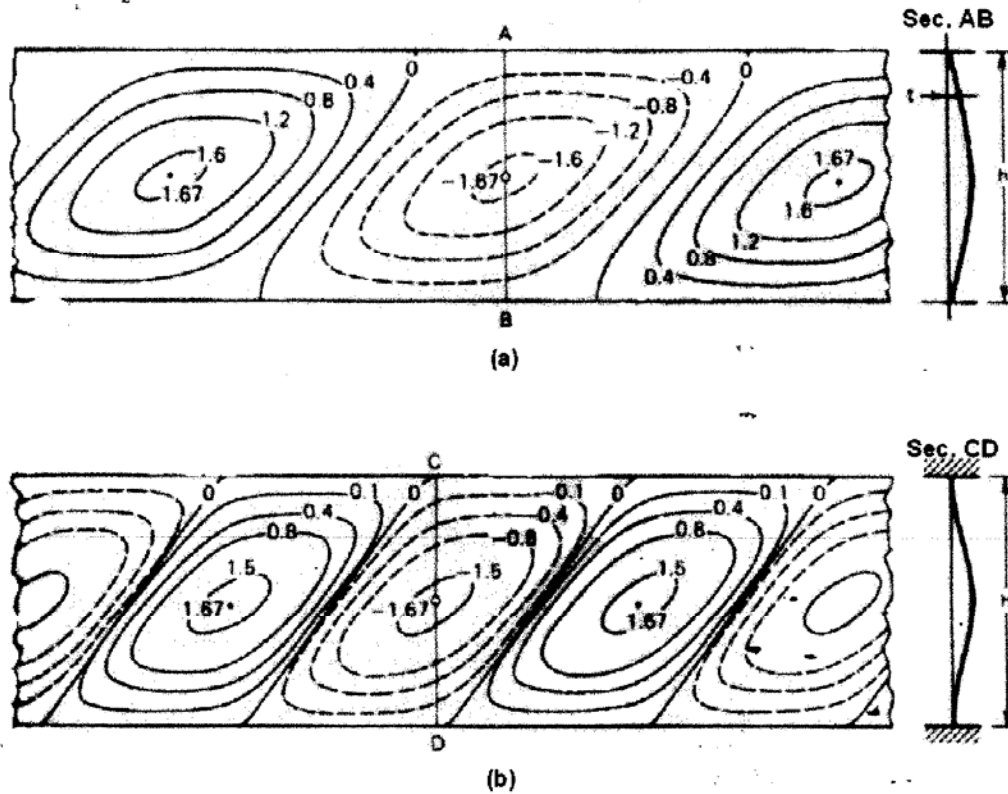


Fig. 3.6 Pandeo por cortante de una placa de longitud infinita. (a) orilla simplemente apoyada; (b) orillas empotradas.

Cuando el alma tiene una relación de h/t moderada, el valor teóricamente calculado τ_{cr} puede llegar a ser mayor que el límite de proporcionalidad. Por consiguiente el valor de la relación debe de ser reducido para que éste sea reflejado en el cambio de elasticidad. Tomando en cuenta la influencia del endurecimiento por deformación, se propone la siguiente ecuación para el cálculo del esfuerzo crítico por pandeo inelástico:

$$\tau_{cr} = \sqrt{\tau_{pr} \tau_{cri}} \quad (3.34)$$

donde: τ_{pr} = límite de proporcionalidad a cortante = $0.80\tau_y = 0.80 F_y / (3)^{1/2}$.

τ_{eri} = esfuerzo crítico de pandeo por cortante dado por la Ec. (3.31)

Substituyendo los valores de τ_{pr} y τ_{eri} en la ecuación anterior, se obtiene la ecuación para pandeo dentro del rango inelástico:

$$\tau_{cr} = \frac{0.64 \sqrt{k_v F_y E}}{h/t} \quad (3.35)$$

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

$$V_n = \frac{0.64 \sqrt{K_v F_y E}}{h/t} (h/t) = 0.64 t^2 \sqrt{K_v F_y E} \quad (3.36)$$

Esta ecuación es utilizada en las especificaciones del AISC y también por el AISI para uniformizar criterio.

3.3.2.2 Resistencia por cortante de Almas sin Agujeros.

De acuerdo con la sección C3.2.1 del AISI 1996, el cortante de diseño es determinado a partir de la resistencia nominal de cortante y un factor de seguridad o de resistencia por cortante. Según el Método de diseño ASD o LRFD, las ecuaciones siguientes representan el diseño por cortante:

$$1. \text{Método ASD: } V_a = \frac{V_n}{\Omega_v} \geq \sum V_i \quad (3.37)$$

$$2. \text{Método LRFD: } \phi_v V_n \geq \gamma V_i \quad (3.38)$$

Donde: V_a = resistencia permisible a cortante

Ω_v = factor de seguridad para cortante.

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

ϕ_v = factor de resistencia por cortante.

γ_v = factor de carga correspondiente al cortante V_i .

$\sum \gamma_i V_i$ = combinación aplicable de cortantes factorizados.

V_n = resistencia nominal de cortante determinada a partir de las consideraciones de diseño siguientes:

(a) Cuando $h/t \leq 0.96 \sqrt{EK_v/F_Y}$

$$V_n = 0.60 F_y h t \quad (3.39)$$

$$\Omega_v = 1.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LRFD)}$$

(b) Cuando $0.96 \sqrt{EK_v/F_Y} \leq h/t \leq 1.415 \sqrt{EK_v/F_Y}$

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

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

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

(c) Cuando $h/t \geq 1.415 \sqrt{EK_v/F_Y}$

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

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

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

donde: V_n = resistencia nominal a cortante.

E = módulo de elasticidad.

F_y = esfuerzo de fluencia del alma de la viga.

h = peralte de la parte plana del alma medida en el plano del alma.

k_v = coeficiente de pandeo por cortante calculado de la manera siguiente:

1. Para vigas no reforzadas, $k_v = 5.34$.

2. Para vigas no atiesadores de carga que cumplen con K_v se calcula según lo estipulado en la sección B6.2 del AISI 1996.

Cuando la viga tenga más de una alma, cada una de estas se deberá tomar por separado, soportando el cortante proporcional.

3.3.3 Flexión en almas

Las almas de las vigas además de que pueden pandearse por el esfuerzo cortante también puede pandearse por esfuerzos debido a flexión. En la región donde más fácilmente puede llegar a ocurrir el pandeo por flexión del alma es donde ocurre el momento máximo.

Cuando la relación peralte espesor es muy grande, el pandeo de elemento del alma puede llegar a ser crítico. Para mejorar la eficiencia estructural de dichos elementos se puede incluir atiesadores longitudinales en donde exista la compresión del alma como se muestra en la figura.

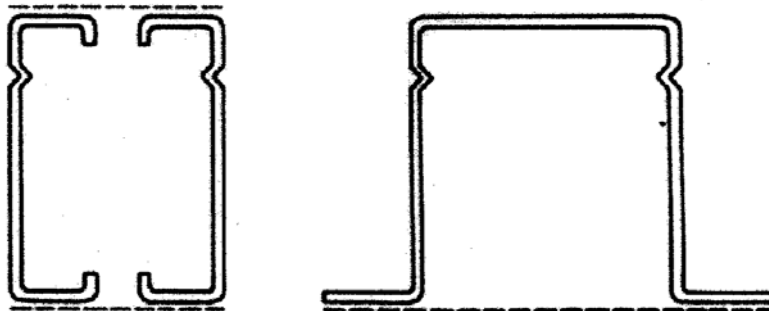


Fig. 3.7 Secciones típicas para secciones de vigas con atiesadores longitudinales.

3.3.4 Combinación de Cortante y Flexión en Almas.

Cuando se presentan esfuerzos combinados de cortante y flexión y estos son elevados, como en los apoyos de vigas en voladizos o en los apoyos interiores de las



vigas continuas, las almas pueden pandearse a esfuerzos menores que cuando se presenta solo uno de estos. Dichas almas deben ser protegidas contra el pandeo debido a combinación del cortante y flexión.

La combinación crítica de esfuerzos de flexión y cortante en placas rectangulares aisladas fue inicialmente estudiada por Timoshenko. La Fig.3.8 muestra la interacción entre f_b/f_{cr} y τ/τ_{cr} , donde f_b es el esfuerzo actuante a flexión, f_{cr} el esfuerzo crítico de pandeo para flexión pura, τ esfuerzo actuante a cortante y τ_{cr} el esfuerzo crítico de pandeo para cortante puro. Como se ilustra en la figura 3.8 que para rangos de a/h de 0.50 a 1.0, la relación entre f_b/f_{cr} puede aproximarse mediante la siguiente ecuación de un círculo unitario.

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

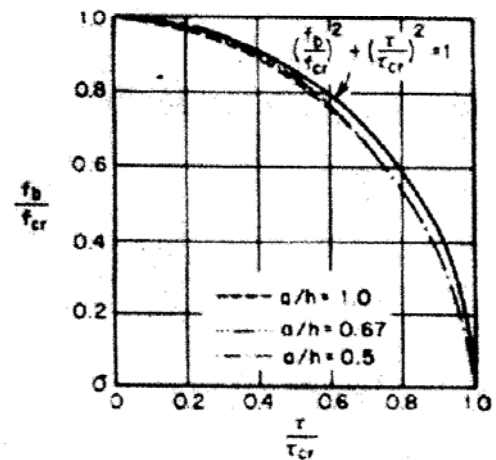


Fig. 3.8 Relación de interacción entre f_b/f_{cr} y τ/τ_{cr}

Mediante pruebas experimentales se ha demostrado que la Ec. (3.42), elaborada para placas rectangulares aisladas, resulta conservadora para almas de vigas con atiesadores transversales apropiados, ya que pueden desarrollarse campos de tensión diagonal entre atiesadores. Sobre la base de los resultados de pruebas experimentales mostrados en la Fig. 3.9 la siguiente ecuación fue desarrollada para almas de vigas con atiesadores transversales.

$$\frac{0.60f_b}{f_{b\max}} + \frac{\tau}{\tau_{\max}} = 1.3 \quad (3.43)$$

donde $f_{b\max}$ = esfuerzo máximo de flexión calculado

τ_{\max} = esfuerzo máximo de cortante calculado para el alma reforzada.

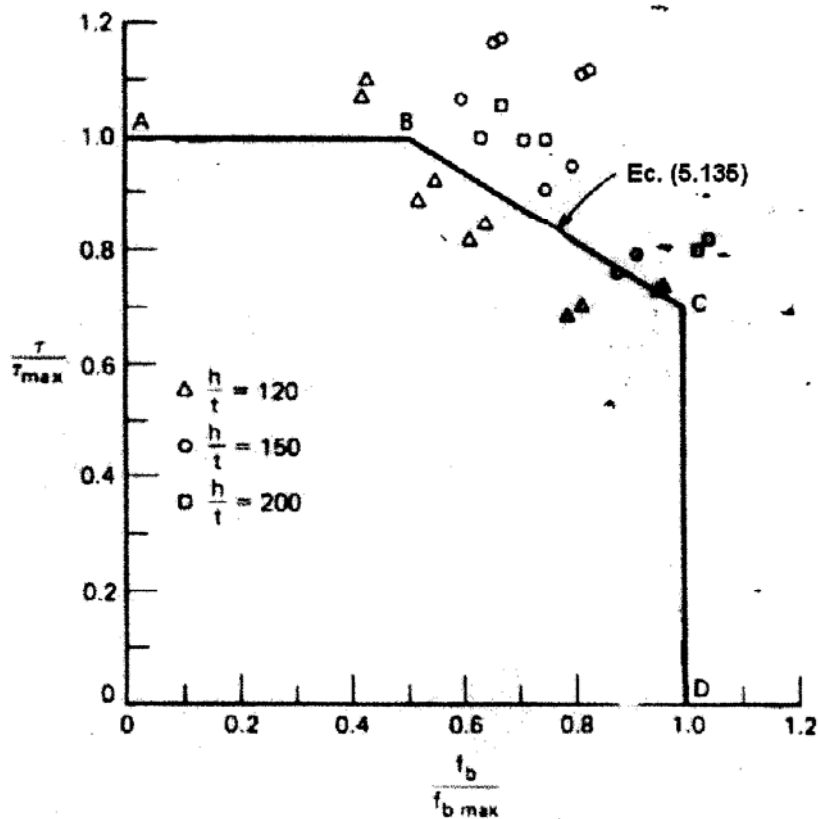


Fig. 3.9 Diagrama de interacción para f_b/f_{ct} .

Las especificaciones del AISI, desde la edición de 1996, usan relaciones de resistencia en las Ecs. (3.42) y (3.43), esto es, relación de momentos para flexión y para cortante relación de fuerzas. La sección C3.3 del AISI 1996 incluye los criterios de diseño para determinar la resistencia de almas sujetas a combinación de esfuerzos de cortante y flexión. A continuación se presenta dicha sección:

3.3.4.1 Resistencia para Flexión y Cortante Combinados

Método ASD

Para Vigas con almas no reforzadas, la resistencia a la flexión requerida, M , y la resistencia a cortante requerida, V , deberán cumplir con la siguiente ecuación de interacción.

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad (3.44)$$

Para vigas con atiesadores de almas transversales, la resistencia a la flexión, M , y la resistencia a cortante requerida, V , no deberán exceder a M_n/Ω_b y V_n/Ω_v , respectivamente. Cuando $\Omega_b M/M_{nxo} > 0.5$ y $\Omega_v V/V_n > 0.70$, M y V deberán cumplir con la siguiente ecuación interacción:

$$0.60 \left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxo}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.3 \quad (3.45)$$

Donde:

Ω_b = factor de seguridad por flexión.

Ω_v = factor de seguridad por cortante

M_n = resistencia nominal a flexión para flexión pura.

M_{nxo} = resistencia nominal a flexión con respecto al eje centroidal x , determinada de acuerdo al procedimiento de Inicio de Fluencia.

V_n = resistencia nominal a cortante.

Método LRFD

Para vigas con almas no reforzadas, la resistencia nominal a flexión, M_u , y la resistencia nominal a cortante, V_u deberán cumplir con la siguiente ecuación de interacción:

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nco}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad (3.46)$$

Para vigas con atiesadores de alma transversales, la resistencia a flexión requerida, M_u , y la resistencia requerida a cortante, V_u , ñ deberán exceder a $\phi_b M_n$ y $\phi_v V_n$, respectivamente. Cuando $M_u/(\phi_b M_{nco}) > 0.5$ y $V_u/(\phi_v V_n) > 0.7$, M_u y V_u deberán satisfacer a la siguiente ecuación de interacción.

$$0.6 \left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nco}} \right) + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right) \leq 1.3 \quad (3.47)$$

Donde: ϕ_b = factor de resistencia por flexión

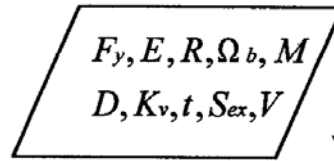
ϕ_v = factor de resistencia por cortante

Nota: se omite en todos los casos el apartado de Determinación de Deformaciones, por no considerarse indispensable en el presente trabajo.

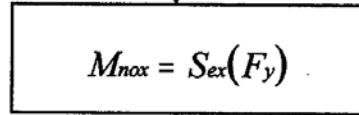
3.4 DIAGRAMA DE FLUJO CORTANTE Y MOMENTO MÉTODOS ASD Y LRFD

Método ASD

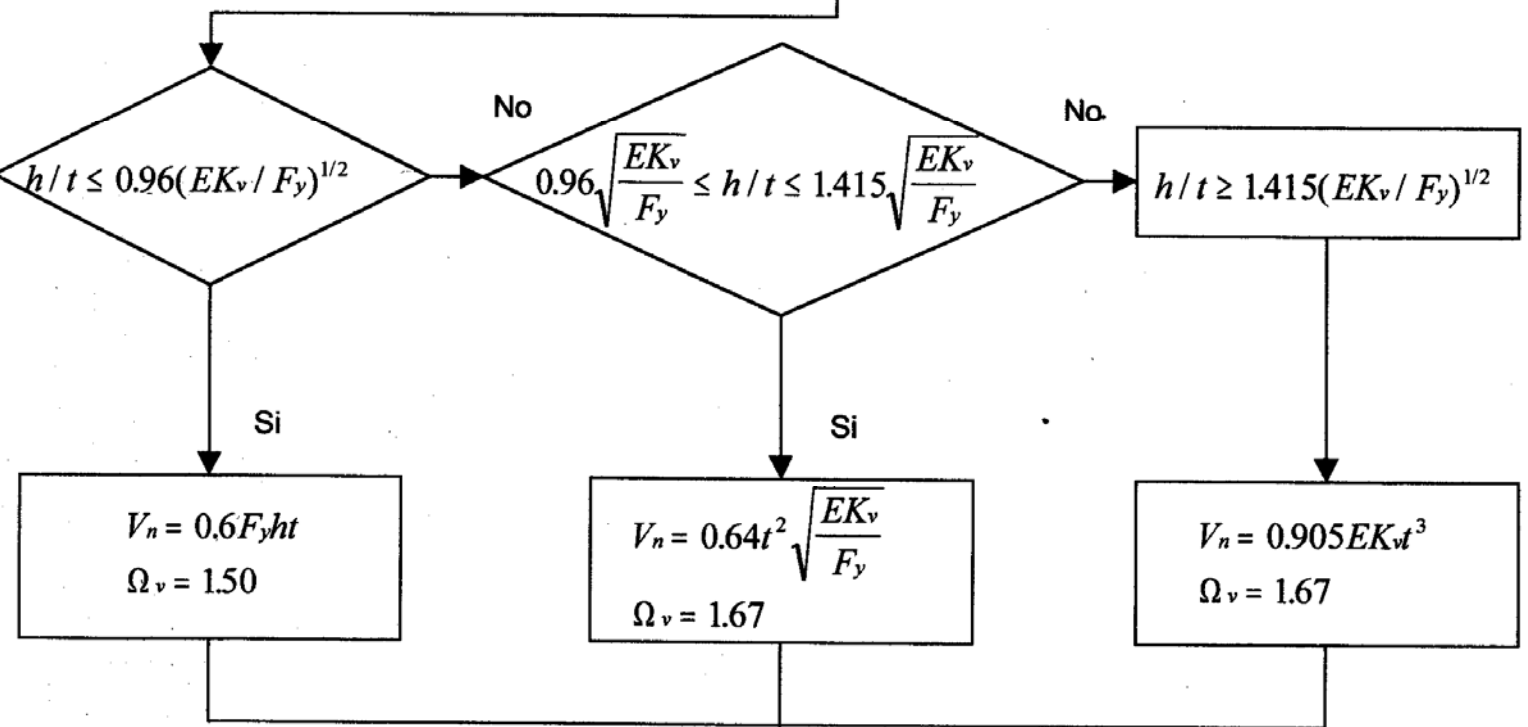
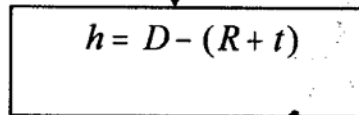
Datos de entrada



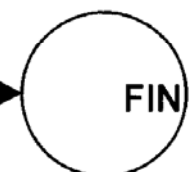
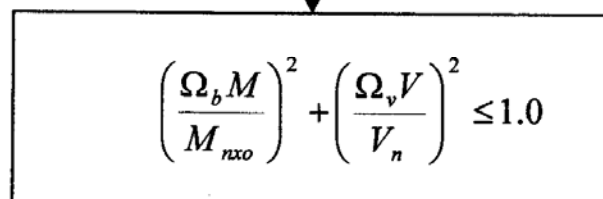
Resistencia Nominal a Flexión.



Resistencia Nominal a Cortante

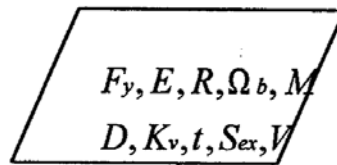


Condición a cumplir en función de la interacción

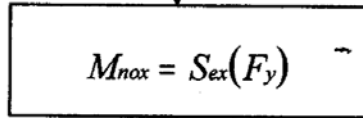


Método LRFD

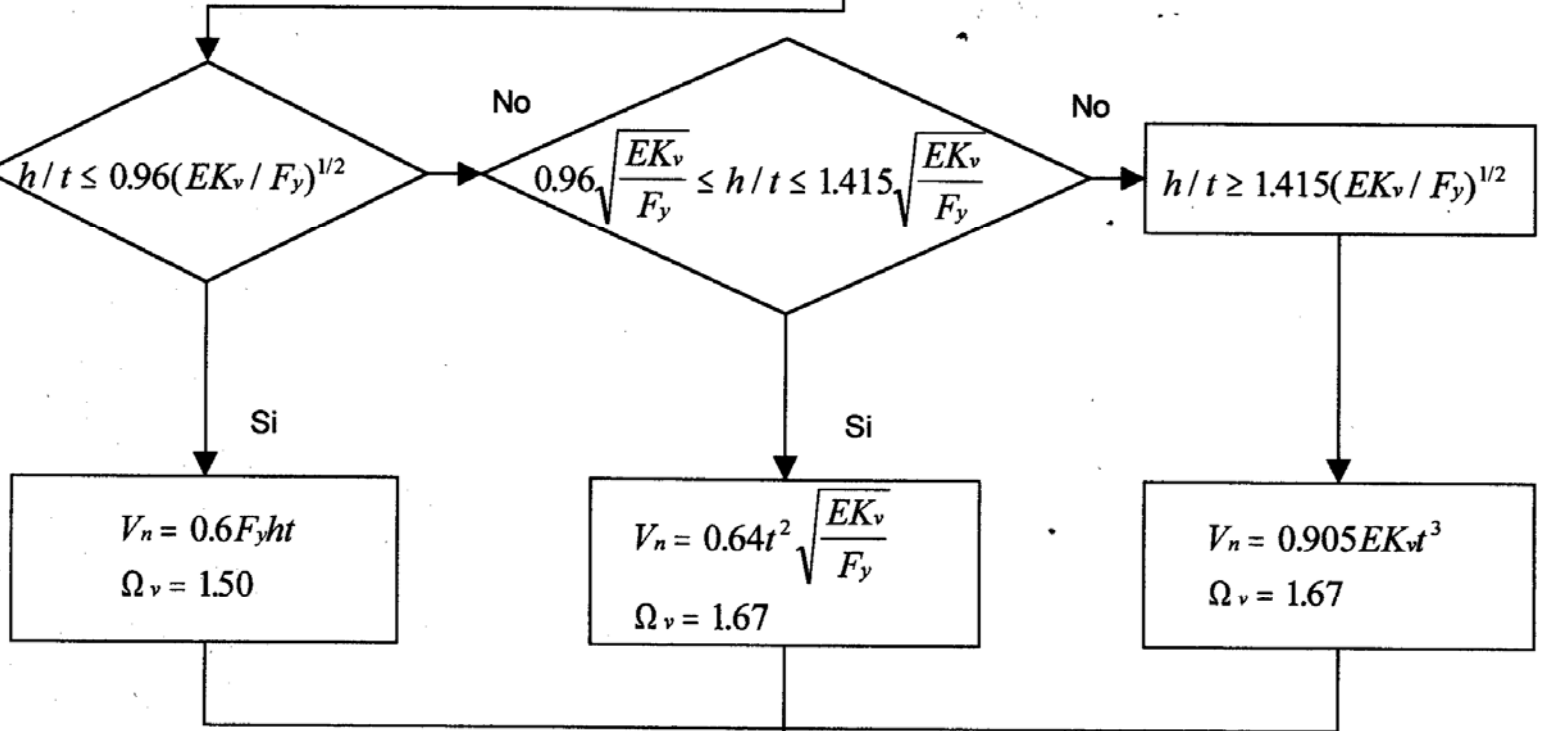
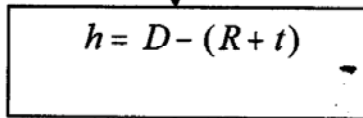
Datos de entrada



Resistencia Nominal a Flexión.

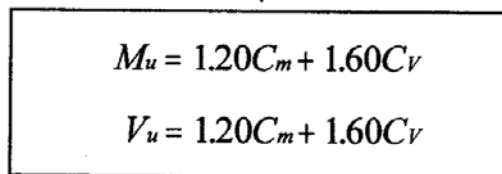


Resistencia Nominal a Cortante



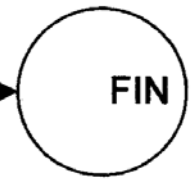
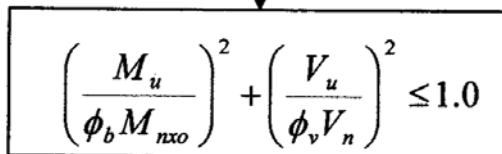
Momento y Cortante

Requeridos.



Condición a cumplir

En función de la interacción



3.5 TABLAS DE DISEÑO PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMBINACIÓN DE CORTANTE Y FLEXIÓN.

A continuación se presentan los cálculos de la resistencia a combinación de cortante y flexión de Perfiles "Z" laminados en frío fabricados en México. Se consideraron solamente cargas gravitacionales en el plano de cortante débil (y) de los perfiles, y se evaluaron las Resistencias Nominales en el eje fuerte (x) de la sección. Cabe mencionar que en la gran mayoría de los casos las almas de los perfiles resultaron 100% efectivas en el cálculo del S_{ex} (Módulo de Sección Efectivo).

Las tablas también consideran el caso del cálculo de la resistencia a cortante y flexión pura, dichas resistencias se obtienen igualando a cero el cortante aplicado ($V=0$) y el Momento aplicado ($M=0$), respectivamente.

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nox}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad \text{Despejando el Cortante:} \quad V = \frac{V_n}{\Omega_v} \quad \text{Cortante Máximo}$$

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nox}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad \text{Despejando el Momento:} \quad M = \frac{M_{nox}}{\Omega_b} \quad \text{Momento Máximo}$$

Después de haber obtenido el Cortante máximo para cuando el momento es igual a cero ($M=0$), se despeja la ecuación de interacción quedando esta en función del Cortante:

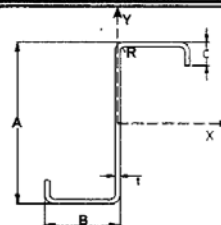
$$M = \frac{M_{nox} \sqrt{1 - \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2}}{\Omega_b} \quad (3.48)$$

Con esta ecuación se evalúa el Momento a diferentes intervalos de Cortante, dichos intervalos son el 75%, 50% y 25% del valor del Cortante máximo.

Se consideran dos valores de F_y , de acuerdo a los usos de los fabricantes mexicanos: $F_y = 3514 \text{ Kg/cm}^2$; $F_y = 2319 \text{ Kg/cm}^2$.

TABLA I

**COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES**



Fabricante: PROLAMSA

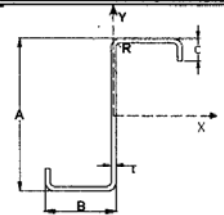
METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
12EP10-12*3 ¹ / ₂	8.30	0.00	7.18	0.00	12EP10-12*3 ¹ / ₂	12.47	0.00	10.79	0.00
	6.22	208.26	5.39	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 ¹ / ₂	3.88	0.00	3.88	0.00	12EP12-12*3 ¹ / ₂	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 ¹ / ₂	1.41	0.00	1.41	0.00	12EP14-12*3 ¹ / ₂	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 ³ / ₄	8.84	0.00	7.18	0.00	10EP10-10*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	4.69	0.00	4.34	0.00	10EP12-10*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	1.70	0.00	1.70	0.00	10EP14-10*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	0.87	0.00	0.87	0.00	10EP16-10*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	8.84	0.00	6.76	0.00	9EP10-9*2 ³ / ₄	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

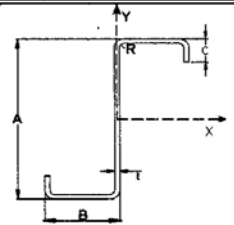
Fabricante: PROLAMSA



METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
9EP12-9*2 ³ / ₄	5.26	0.00	4.34	0.00	9EP12-9*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	1.90	0.00	1.90	0.00	9EP14-9*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	0.97	0.00	0.97	0.00	9EP16-9*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	8.84	0.00	5.97	0.00	8EP10-8*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	5.35	0.00	4.34	0.00	8EP12-8*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	2.15	0.00	2.15	0.00	8EP14-8*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	1.10	0.00	1.10	0.00	8EP16-8*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	7.80	0.00	5.15	0.00	7EP10-7*2 ³ / ₄	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**



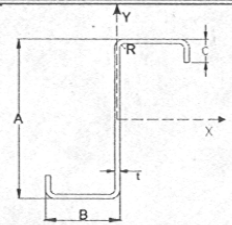
Fabricante: PROLAMSA

METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
7EP12-7*2 ³ / ₄	5.35	0.00	4.04	0.00	7EP12-7*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	2.49	0.00	2.22	0.00	7EP14-7*2 ³ / ₄	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 ³ / ₄	1.27	0.00	1.27	0.00	7EP16-7*2 ³ / ₄	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**

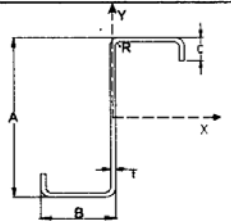
Fabricante: PROLAMSA



METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	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**



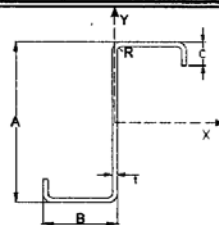
Fabricante: PROLAMSA

METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	$F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$		$F_y = 2319 \text{ kg/cm}^2$		SECCION	$F_y = 3514 \text{ kg/cm}^2$		$F_y = 2319 \text{ kg/cm}^2$	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
3EP14-3*1 $\frac{1}{2}$	1.72	0.00	1.13	0.00	3EP14-3*1 $\frac{1}{2}$	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**

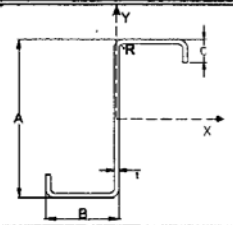
Fabricante: IMCA



METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	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 _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	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

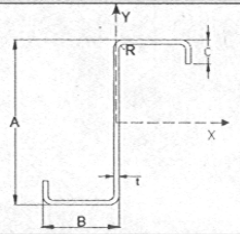


TABLA II

**COMBINACION DE FLEXION Y CORTANTE
SECCION Z - CON LABIOS ATIESADORES**

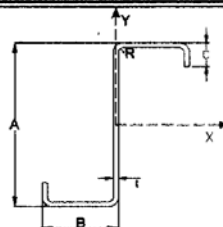
Fabricante: IMCA

METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	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

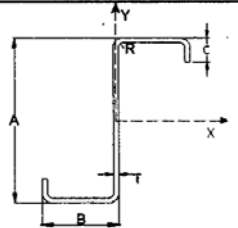


METODO ASD					METODO LRFD				
SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)		V (Ton)	M (Ton-cm)	V (Ton)	M (Ton-cm)
ZF 178*14	2.43	0.00	2.22	0.00	ZF 178*14	3.66	0.00	3.33	0.00
	1.82	35.01	1.66	32.46		2.74	70.11	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 _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²		SECCION	F _y = 3514 kg/cm ²		F _y = 2319 kg/cm ²	
	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	110.07
	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	191.07
	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	130.11
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	134.55
	2.36	152.89	2.17	111.02		3.55	242.56	3.26	176.11
	1.18	170.93	1.09	124.13		1.77	271.19	1.63	196.99
	0.00	176.54	0.00	128.20		0.00	280.08	0.00	203.33
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	176.22
	4.42	213.93	3.59	145.46		6.64	339.40	5.40	230.77
	2.21	239.18	1.80	162.63		3.32	379.46	2.70	258.07
	0.00	247.02	0.00	167.97		0.00	391.90	0.00	266.44
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	171.66
	1.95	196.44	1.95	141.64		2.93	311.66	2.93	224.77
	0.97	219.63	0.97	158.36		1.46	348.44	1.46	251.22
	0.00	226.83	0.00	163.55		0.00	359.87	0.00	259.44
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	225.11
	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	329.55
	0.00	315.77	0.00	214.54		0.00	500.98	0.00	340.33

3.6 EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LAS TABLAS DE DISEÑO.

A continuación se presentan cinco problemas de diseño y/o análisis que ilustran la aplicación de las Tablas de Diseño. Se consideran vigas simplemente apoyadas con cargas gravitacionales en el eje débil de la sección y una pendiente del perfil igual a cero.

EJEMPLO 1:

Determine por los Métodos ASD y LRFD si la sección Zeta 10EP10-10*2³/₄ puede soportar $M = 118.15$ Ton-cm y $V = 3.42$ Ton; considerar 20% de Carga Muerta y el resto de Carga Viva, Asuma $F_y = 2319$ Kg/cm².

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geométricas para el perfil 10EP12-10*2³/₄.

$$D = 25.40 \text{ cm}$$

$$R = 0.396 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 99.983 \text{ cm}$$

$$t = 0.342 \text{ cm}$$

1. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nxx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 99.983 \text{ cm}^3 * 2319 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 231860.58 \text{ kg-cm} \\ &= 231.86 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

2. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 25.40 - 2*(0.396 + 0.342) \\ &= 23.924 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h/t = 23.924/0.342 = 69.953$$

$$0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \leq \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$0.96 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{2319}} \leq 69.953 \leq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{2319}}$$

$$66.327 \leq 69.953 \leq 97.763$$

como $66.327 \leq h/t \leq 97.763$, por lo tanto:

$$V_n = 0.64t^2 \sqrt{EK_v F_y}$$

$$V_n = 0.64(0.342) \sqrt{2.073 \cdot 10^6 (5.34)(2319)}$$

$$V_n = 11.994 \text{ Ton}$$

3. Análisis de la condición a cumplir por los diferentes métodos ASD y LRFD.

Método ASD

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxo}} \right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \Omega_b = 1.67 \text{ y } \Omega_v = 1.67$$

$$\left(\frac{1.67 \cdot 118.15}{231.86} \right)^2 + \left(\frac{1.67 \cdot 3.42}{11.994} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.72 + 0.23 \leq 1.0$$

$$0.95 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

Método LRFD

Cálculo del Momento y Cortante requeridos.

$$M = 118.15 \text{ Ton-cm}$$

$$V = 3.42 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1.20(23.63) + 1.60(94.52) = 179.588 \text{ Ton-cm}$$

$$V_u = 1.20(0.684) + 1.60(2.736) = 5.198 \text{ Ton-cm}$$

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \phi_b = 0.95 \text{ y } \phi_v = 0.90$$

$$\left(\frac{179.588}{0.95 \cdot 231.86} \right)^2 + \left(\frac{5.198}{0.90 \cdot 11.994} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.664 + 0.231 \leq 1.0$$

$$0.90 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

4. Revisión del Perfil mediante las Tablas de Diseño.

Método ASD

De la Tabla I de Diseño de Prolamsa se obtiene para 10EP10-10*2²/₃ que puede resistir la combinación:

$$V = 3.59 \text{ Ton} > 3.42 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M = 120.21 \text{ Ton-cm} > 118.15 \text{ Ton-cm} \quad \text{Cumple}$$

Método LRFD

De la Tabla II de Diseño de PROLAMSA se obtiene para 10EP10-10*2²/₃ que puede resistir la combinación:

$$V_u = 5.40 \text{ Ton} > 5.19 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M_u = 190.76 \text{ Ton-cm} > 179.59 \text{ Ton-cm} \quad \text{Cumple}$$

EJEMPLO 2:



Determine por los Métodos ASD y LRFD si la sección Zeta ZF152*12 puede soportar $M = 74.35$ Ton-cm y $V = 2.55$ Ton; considerar 20% de Carga Muerta y el resto de Carga Viva, Asuma $F_y = 3514$ Kg/cm².

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geométricas para el perfil 10EP12-10*2³/₄.

$$D = 15.24 \text{ cm}$$

$$R = 0.48 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 36.565 \text{ cm}^3$$

$$t = 0.266 \text{ cm}$$

1. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nfx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 36.565 \text{ cm}^3 * 3514 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 128482.38 \text{ kg-cm} \\ &= 128.49 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

2. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 15.24 - 2*(0.48 + 0.266) \\ &= 13.748 \text{ cm} \\ h/t &= 13.748/0.266 = 51.68 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{t} \leq 0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$51.68 \leq 0.96 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{3514}}$$

$$51.68 \leq 56.13$$

como $h/t \leq 56.13$ por lo tanto:

$$V_n = 0.60 F_y h t$$

$$V_n = 0.60 * 3514 * 13.748 * 0.266$$

$$V_n = 7.710 \text{ Ton}$$

3. Análisis de la condición a cumplir por los diferentes métodos ASD y LRFD.

Método ASD

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nso}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \Omega_b = 1.67 \text{ y } \Omega_v = 1.50$$

$$\left(\frac{1.67 \cdot 74035}{128.49}\right)^2 + \left(\frac{1.50 \cdot 2.55}{7.710}\right)^2 \leq 1.0$$

$$0.93 + 0.25 \leq 1.0$$

$$1.18 \leq 1.0 \quad \text{No cumple}$$

Método LRFD

Cálculo del Momento y Cortante requeridos.

$$M = 74.35 \text{ Ton-cm}$$

$$V = 2.55 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1.20(14.87) + 1.60(59.48) = 113.012 \text{ Ton-cm}$$

$$V_u = 1.20(0.51) + 1.60(2.04) = 3.876 \text{ Ton-cm}$$

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nso}}\right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \phi_b = 0.95 \text{ y } \phi_v = 1.00$$

$$\left(\frac{113.012}{0.95 \cdot 128.49}\right)^2 + \left(\frac{3.876}{1.00 \cdot 7.710}\right)^2 \leq 1.0$$

$$0.857 + 0.253 \leq 1.0$$

$$1.11 \leq 1.0 \quad \text{No cumple}$$

4. Revisión del Perfil mediante las Tablas de Diseño.

Método ASD

De la Tabla I de Diseño de Prolamsa se obtiene para ZF152*12 que puede resistir la combinación:

$$V = 2.57 \text{ Ton} > 2.55 \text{ Ton} \quad \text{No cumple}$$

$$M = 66.63 \text{ Ton-cm} < 74.35 \text{ Ton-cm} \quad \text{No cumple}$$

Método LRFD

De la Tabla II de Diseño de PROLAMSA se obtiene para ZF152*12 que puede resistir la combinación:

$V_u = 3.86 \text{ Ton} < 3.876 \text{ Ton}$

No cumple

$M_u = 105.71 \text{ Ton-cm} < 113.012 \text{ Ton-cm}$

No cumple

EJEMPLO 3:

Diseñe por los Métodos ASD y LRFD un polin de sección zeta para ser utilizado en cubierta. Considere 20% de Carga Muerta y el resto de Carga Viva. Asuma $F_y = 2319 \text{ Kg/cm}^2$, $M = 65.20 \text{ Ton-cm}$ y $V = 3.35 \text{ Ton}$

Método ASD

En base a los valores de M y V dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles.

SECCION	V (Ton)	M (Ton – cm)
8EP10-8*2 ³ / ₄	4.48	67.61
10EP12-10*2 ³ / ₄	3.26	72.82
ZF203*10	4.44	73.52

Se seleccionó el perfil 10EP12-10*2³/₄ por ser el más óptimo.

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geometricas para el perfil 10EP12-10*2³/₄.

$$D = 25.40 \text{ cm}$$

$$R = 0.396 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 79.28 \text{ cm}$$

$$t = 0.266 \text{ cm}$$

1. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nxx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 79.28 \text{ cm}^3 * 2319 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 183850.32 \text{ kg-cm} \\ &= 183.85 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

2. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 25.40 - 2*(0.396 + 0.266) \\ &= 24.076 \text{ cm} \\ h/t &= 23.924/0.266 = 90.51 \end{aligned}$$

$$0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \leq \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$0.96 \sqrt{\frac{2.073 \cdot 10^6 (5.34)}{2319}} \leq 90.51 \leq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 \cdot 10^6 (5.34)}{2319}}$$

$$66.327 \leq 90.51 \leq 97.763$$

como $66.327 \leq h/t \leq 97.763$, por lo tanto:

$$V_n = 0.64 t^2 \sqrt{E K_v F_y}$$

$$V_n = 0.64 (0.266)^2 \sqrt{2.073 \cdot 10^6 (5.34) (2319)}$$

$$V_n = 7.255 \text{ Ton}$$

3. Análisis de la condición a cumplir por los diferentes métodos ASD y LRFD.

Método ASD

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nco}} \right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \Omega_b = 1.67 \text{ y } \Omega_v = 1.67$$

$$\left(\frac{1.67 \cdot 65.20}{183.85} \right)^2 + \left(\frac{1.67 \cdot 3.35}{7.255} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.35 + 0.59 \leq 1.0$$

$$0.94 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

Método LRFD

Cálculo del Momento y Cortante requeridos:

$$M = 65.20 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V = 3.35 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1.20(13.04) + 1.60(52.16) = 99.104 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V_u = 1.20(0.67) + 1.60(2.68) = 5.092 \text{ Ton}$$

En base a los valores de M_u y V_u dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles:

SECCIÓN	V (Ton)	M (Ton – cm)
10EP12-10*2 ³ / ₄	4.90	115.53
9EP10-9*2 ³ / ₄	5.07	164.37
9EP12-9*2 ³ / ₄	4.90	99.67

8EP10-8*2 ³ / ₄	4.48	140.43
ZF178*10	5.76	90.69

Se selecciono el perfil ZF178*10 por ser el mas óptimo

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geometricas para el perfil ZF178*10.

$$D = 17.78 \text{ cm}$$

$$R = 0.48 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 62.238 \text{ cm}$$

$$t = 0.342 \text{ cm}$$

4. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nxo} &= S_{ex} * F_y \\ &= 62.238 \text{ cm}^3 * 2319 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 144329.92 \text{ kg-cm} \\ &= 144.33 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

5. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 17.78 - 2*(0.48 + 0.342) \\ &= 16.136 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h/t = 16.136/0.342 = 47.18$$

$$\frac{h}{t} \leq 0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$47.18 \leq 0.96 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{2319}}$$

$$47.18 \leq 66.33$$

como $h/t \leq 66.33$ por lo tanto:

$$V_n = 0.60 F_y h t$$

$$V_n = 0.60 * 2319 * 16.136 * 0.342$$

$$V_n = 7.678 \text{ Ton}$$

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxo}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \phi_b = 0.95 \text{ y } \phi_v = 1.00$$

$$\left(\frac{99.104}{0.95 \cdot 144.33}\right)^2 + \left(\frac{5.092}{1.00 \cdot 7.678}\right)^2 \leq 1.0$$

$$0.522 + 0.440 \leq 1.0$$

$$0.96 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

6. Revisión del Perfil mediante las Tablas de Diseño

Método ASD

De la Tabla I de Diseño de PROLAMSA se obtiene para 10EP12-10*2³/₄ que puede resistir la combinación

$$V = 3.35 \text{ Ton} > 3.26 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M = 65.20 \text{ Ton} - \text{cm} < 72.82 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre mayor sea el cortante, menor es el momento que resiste.

Método LRFD

De la Tabla II de Diseño del Manual IMCA se obtiene para ZF178*10 que puede resistir la combinación:

$$V_u = 5.092 \text{ Ton} < 5.76 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M_u = 99.104 \text{ Ton} - \text{cm} > 90.69 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre menor sea el cortante, mayor es el momento que resiste.

EJEMPLO 4:

Diseñe por los Métodos ASD y LRFD un polin de sección zeta para ser utilizado en cubierta. Considere 20% de Carga Muerta y el resto de Carga Viva. Asuma $F_y = 3514 \text{ Kg/cm}^2$, $M = 77.10 \text{ Ton-cm}$ y $V = 3.28 \text{ Ton}$

Método ASD

En base a los valores de M y V dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles.

SECCION	V (Ton)	M (Ton - cm)
6EP10-6*2	3.30	72.86
8EP12-8*2 ³ / ₄	4.01	78.67
ZF152*10	3.27	84.96
7EP12-7*2 ³ / ₄	2.67	85.98
ZF178*12	2.67	87.89

Se seleccionó el perfil 7EP12-7*2³/₄ por ser el más óptimo.

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geométricas para el perfil 7EP12-7*2³/₄

$$D = 17.70 \text{ cm}$$

$$R = 0.396 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 47.183 \text{ cm}^3$$

$$t = 0.266 \text{ cm}$$

1. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nxx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 47.183 \text{ cm}^3 * 3514 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 165801.062 \text{ kg-cm} \\ &= 165.80 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

2. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 17.70 - 2*(0.396 + 0.266) \\ &= 16.376 \text{ cm} \\ h/t &= 16.376/0.266 = 61.56 \end{aligned}$$

$$0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_Y}} \leq \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_Y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$0.96 \sqrt{\frac{2.073 \cdot 10^6 (5.34)}{3514}} \leq 61.56 \leq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 \cdot 10^6 (5.34)}{3514}}$$

$$53.882 \leq 61.56 \leq 79.419$$

Como $53.882 \leq 61.56 \leq 79.419$ por lo tanto:

$$V_n = 0.64 t^2 \sqrt{EK_v F_Y}$$

$$V_n = 0.64 (0.266)^2 \sqrt{2.073 \cdot 10^6 (5.34) (3514)}$$

$$V_n = 8.931 \text{ Ton}$$

3. Análisis de la condición a cumplir por los diferentes métodos ASD y LRFD.

Método ASD

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nso}} \right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \Omega_b = 1.67 \text{ y } \Omega_v = 1.67$$

$$\left(\frac{1.67 \cdot 77.10}{165.80} \right)^2 + \left(\frac{1.67 \cdot 3.28}{8.931} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.60 + 0.38 \leq 1.0$$

$$0.98 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

Método LRFD

Cálculo del Momento y Cortante requeridos:

$$M = 77.10 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V = 3.28 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1.20(15.42) + 1.60(61.68) = 117.192 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V_u = 1.20(0.656) + 1.60(2.624) = 4.9856 \text{ Ton}$$

En base a los valores de M_u y V_u dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles:



SECCIÓN	V (Ton)	M (Ton – cm)
7EP12-7*2 ³ / ₄	4.02	136.41
ZF152*12	3.86	105.71
ZF152*10	4.90	134.78
ZF178*12	4.02	139.44

Se selecciono el perfil ZF178*12 por ser el mas óptimo

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geometricas para el perfil ZF178*12.

$$D = 17.78 \text{ cm}$$

$$R = 0.48 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 48.231 \text{ cm}^3$$

$$t = 0.266 \text{ cm}$$

4. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nfx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 48.231 \text{ cm}^3 * 3514 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 169483.73 \text{ kg-cm} \\ &= 169.48 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

5. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 17.78 - 2*(0.48 + 0.266) \\ &= 16.288 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h/t = 16.288/0.266 = 61.23$$

$$0.96 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \leq \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}}$$

Considerar $K_v = 5.34$ para apoyos simples

$$0.96 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{3514}} \leq 61.23 \leq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{3514}}$$

$$53.882 \leq 61.23 \leq 79.419$$

como $53.882 \leq h/t \leq 79.419$ por lo tanto:

$$V_n = 0.64t^2 \sqrt{EK_v F_y}$$

$$V_n = 0.64(0.266)^2 \sqrt{2.073 * 10^6 (5.34)(3514)}$$

$$V_n = 8.931 \text{ Ton}$$

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxx}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \phi_b = 0.95 \text{ y } \phi_v = 0.90$$

$$\left(\frac{117.192}{0.95 * 169.48} \right)^2 + \left(\frac{4.9856}{0.90 * 8.931} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.530 + 0.385 \leq 1.0$$

$$0.91 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

6. Revisión del Perfil mediante las Tablas de Diseño

Método ASD

De la Tabla I de Diseño de PROLAMSA se obtiene para 7EP12-7*2³/₄ que puede resistir la combinación

$$V = 3.28 \text{ Ton} > 2.67 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M = 77.10 \text{ Ton} - \text{cm} < 85.98 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre mayor sea el cortante, menor es el momento que resiste.

Método LRFD

De la Tabla II de Diseño del Manual IMCA se obtiene para ZF178*10 que puede resistir la combinación:

$$V_u = 4.9856 \text{ Ton} > 4.02 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M_u = 117.192 \text{ Ton} - \text{cm} < 139.44 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre menor sea el cortante, mayor es el momento que resiste.

EJEMPLO 5:

Diseñe por los Métodos ASD y LRFD un polin de sección zeta para ser utilizado en cubierta. Considere 20% de Carga Muerta y el resto de Carga Viva. Asuma $F_y = 3514 \text{ Kg/cm}^2$, $M = 200.50 \text{ Ton-cm}$ y $V = 6.18 \text{ Ton}$

Método ASD

En base a los valores de M y V dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles.

SECCION	V (Ton)	M (Ton – cm)
12EP10-12*3 ¹ / ₂	6.22	208.26
ZF203*10	6.63	111.41
8EP10-8*2 ³ / ₄	6.63	102.48
9EP10-9*2 ³ / ₄	6.63	119.94

Se seleccionó el perfil 12EP10-12*3¹/₂ por ser el más óptimo.

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geométricas para el perfil 12EP10-12*3¹/₂

$$D = 30.40 \text{ cm}$$

$$R = 0.396 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 149.632 \text{ cm}$$

$$t = 0.342 \text{ cm}$$

1. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nxo} &= S_{ex} * F_y \\ &= 149.632 \text{ cm}^3 * 3514 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 525806.848 \text{ kg-cm} \\ &= 525.81 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

2. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 30.40 - 2*(0.396 + 0.342) \\ &= 28.924 \text{ cm} \\ h/t &= 28.924/0.342 = 84.57 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{t} \geq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_Y}}$$

Considerar $K_v = 5.34$ para apoyos simples

$$84.57 \geq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 \cdot 10^6 (5.34)}{3514}}$$

$$84.57 \geq 79.419$$

Como $h/t \geq 79.419$ por lo tanto:

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

$$V_n = \frac{0.905(2.073 \cdot 10^6)(5.34)(0.342)^3}{28.924}$$

$$V_n = 13.855 \text{ Ton}$$

3. Análisis de la condición a cumplir por los diferentes métodos ASD y LRFD.

Método ASD

$$\left(\frac{\Omega_b M}{M_{nxx}}\right)^2 + \left(\frac{\Omega_v V}{V_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \Omega_b = 1.67 \text{ y } \Omega_v = 1.67$$

$$\left(\frac{1.67 \cdot 200.50}{525.81}\right)^2 + \left(\frac{1.67 \cdot 6.18}{13.855}\right)^2 \leq 1.0$$

$$0.41 + 0.55 \leq 1.0$$

$$0.96 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

Método LRFD

Cálculo del Momento y Cortante requeridos:

$$M = 200.50 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V = 6.18 \text{ Ton}$$

$$M_u = 1.20(40.10) + 1.60(160.40) = 304.76 \text{ Ton} - \text{cm}$$

$$V_u = 1.20(1.236) + 1.60(4.944) = 9.3936 \text{ Ton}$$

En base a los valores de M_u y V_u dados en las Tablas de Diseño se pueden considerar los siguientes perfiles:

SECCIÓN	V (Ton)	M (Ton – cm)
12EP10-12*3 ¹ / ₂	9.35	330.40
9EP10-9*2 ³ / ₄	9.97	190.28
8EP10-8*2 ³ / ₄	9.97	162.58
ZF203*10	9.97	176.76

Se selecciono el perfil 12EP10-12*3¹/₂ por ser el mas óptimo

- Del Anexo 1 se obtiene las siguientes propiedades geometricas para el perfil 12EP10-12*3¹/₂

$$D = 30.40 \text{ cm}$$

$$R = 0.396 \text{ cm}$$

$$S_{ex} = 149.632 \text{ cm}$$

$$t = 0.342 \text{ cm}$$

4. Cálculo de la Resistencia Nominal a Flexión con respecto al eje centroidal x.

$$\begin{aligned} M_{nfx} &= S_{ex} * F_y \\ &= 149.632 \text{ cm}^3 * 3514 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 525806.848 \text{ kg-cm} \\ &= 525.81 \text{ Ton-cm} \end{aligned}$$

5. Cálculo de la Resistencia Nominal a Cortante.

$$\begin{aligned} h &= D - 2(R + t) \\ &= 30.40 - 2*(0.396 + 0.342) \\ &= 28.924 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h/t = 28.924/0.342 = 84.57$$

$$\frac{h}{t} \geq 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{F_y}} \quad \text{Considerar } K_v = 5.34 \text{ para apoyos simples}$$

$$84.57 \geq 1.415 \sqrt{\frac{2.073 * 10^6 (5.34)}{3514}}$$

$$84.57 \geq 79.419$$

Como $h/t \geq 79.419$ por lo tanto:

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

$$V_n = \frac{0.905(2.073 \cdot 10^6)(5.34)(0.342)^3}{28.924}$$

$$V_n = 13.855 \text{ Ton}$$

$$\left(\frac{M_u}{\phi_b M_{nxx}} \right)^2 + \left(\frac{V_u}{\phi_v V_n} \right)^2 \leq 1.0 \quad \text{donde } \phi_b = 0.95 \text{ y } \phi_v = 0.90$$

$$\left(\frac{304.76}{0.95 \cdot 525.81} \right)^2 + \left(\frac{9.3936}{0.90 \cdot 13.855} \right)^2 \leq 1.0$$

$$0.372 + 0.568 \leq 1.0$$

$$0.94 \leq 1.0 \quad \text{Cumple}$$

6. Revisión del Perfil mediante las Tablas de Diseño

Método ASD

De la Tabla I de Diseño de PROLAMSA se obtiene para 12EP10-12*3¹/₂ que puede resistir la combinación:

$$V = 6.18 \text{ Ton} < 6.22 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M = 200.5 \text{ Ton} - \text{cm} < 208.26 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre mayor sea el cortante, menor es el momento que resiste.

Método LRFD

De la Tabla II de Diseño del Manual IMCA se obtiene para 12EP10-12*3¹/₂ que puede resistir la combinación:

$$V_u = 9.3936 \text{ Ton} > 9.35 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

$$M_u = 304.76 \text{ Ton} - \text{cm} < 330.40 \text{ Ton} - \text{cm} \quad \text{Cumple}$$

- Se observa en la Tabla que entre menor sea el cortante, mayor es el momento que resiste.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados obtenidos en el uso de las Tablas de Diseño elaboradas en el presente trabajo, se puede observar que el objetivo planteado al inicio del mismo ha sido logrado en su mayor parte. Se desarrollaron Tablas para cada uno de los perfiles Z laminados en frío de los proveedores nacionales más importantes, las cuales serán de gran utilidad al calculista en el momento de seleccionar el perfil óptimo según las necesidades específicas de su diseño.

La aplicación de las Tablas no se limita a perfiles cuyos extremos son apoyos simples, como en el caso de las vigas aisladas, ya que esto limitaría mucho el uso de las mismas. Puesto que en la gran mayoría de los casos los perfiles Z son usados como vigas continuas en sistemas de techo y cubierta, las Tablas de Diseño presentadas pueden ser utilizadas cuando los Momentos y los Cortantes actuantes sean diferentes de cero. Esto se logró evaluando el Momento de Diseño bajo niveles de cortante variables, según la ecuación de interacción.

Sin embargo, se recomienda a futuros estudios sobre el tema hacer un análisis del problema de Pandeo lateral y Aplastamiento, e incluir resultados en forma tabular. De esta forma se lograría un excelente complemento para las ayudas de diseño que se proponen.

Cabe destacar algunos detalles que se presentaron a lo largo de la realización del presente documento. En primer lugar, rápidamente descubrimos lo complejo que resultaría hacer los cálculos necesarios de forma manual, ya que los procedimientos son muy largos e implican muchas variables. Al hacer uso de una hoja de cálculo se reduce la posibilidad de error, además de que se aporta software antes inexistente en el tema, utilizable por estudiantes y profesionistas de la Ingeniería.



Otro aspecto a subrayar es sobre las propiedades efectivas de las secciones estudiadas. Al estar corriendo el programa elaborado para obtener el S_{ex} , se hizo evidente que la gran mayoría de los perfiles Z revisados presenta un alma 100% efectiva, de igual manera en la mayoría de los casos el área efectiva del patín de compresión era el área total. De esta forma, el área efectiva de la sección completa alcanza su grado óptimo de eficiencia. Por estas mismas razones, la S_{ex} estimada para los diferentes valores de F_x resultó ser la misma, ya que la S_{ex} resulta de la I_x y esta a su vez del área efectiva.

Parece acertado pensar que los fabricantes logran tales características en sus productos al hacer combinaciones adecuadas de ancho-espesor, de manera que el mas alto porcentaje del acero necesario para hacer un perfil trabaje como viga, reduciendo pérdidas en acero y en productividad.

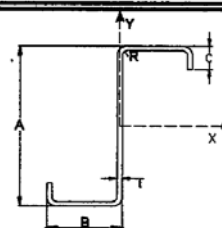
Debido a que la información sobre perfiles Z con labios atiesadores a 50 grados logró ser obtenida en una etapa muy avanzada del documento, no se alcanzaron a incluir en las Tablas de Diseño. Se sugiere incluir en un trabajo ulterior sobre el tema perfiles con las características descritas.

El uso de los perfiles laminado en frío gana en forma acelerada adeptos entre los constructores, por lo que este trabajo es una oportuna aportación a la Ingeniería actual y a la futura.

ANEXO I. TABLAS DE DIMENSIONES Y MÓDULOS EFECTIVOS S_{ex} , PARA PERFILES ZETA LAMINADOS EN FRÍO.

Tabla I

MÓDULO DE SECCIÓN EFECTIVO S_{ex} , CON RESPECTO AL EJE FUERTE DE LA SECCIÓN PARA PERFILES Z LAMINADOS EN FRÍO

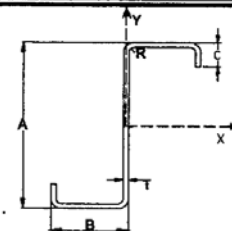


Fabricante: PROLAMSA

DESIGNACION	DIMENSIONES DE LA SECCION					PROPIEDADES DE LA SECCION		
	D mm	B mm	d mm	t mm	R mm	PESO (Kg/m)	Sex (mm ³) Fy = 3514 kg/cm ²	Sex (mm ³) Fy = 2319 kg/cm ²
12EP10-12*3 ¹ / ₂	304.00	89.00	25.00	3.42	3.96	14.40	149631.53	154618.59
12EP12-12*3 ¹ / ₂	304.00	89.00	25.00	2.66	3.96	11.10	110518.29	121727.34
12EP14-12*3 ¹ / ₂	304.00	89.00	25.00	1.90	3.96	8.00	67575.80	8298.20
10EP10-10*2 ³ / ₄	254.00	69.00	19.00	3.42	3.96	11.22	31746.87	99983.17
10EP12-10*2 ³ / ₄	254.00	69.00	19.00	2.66	3.96	8.80	76677.25	79280.52
10EP14-10*2 ³ / ₄	254.00	69.00	19.00	1.90	3.96	6.34	50931.43	56573.59
10EP16-10*2 ³ / ₄	254.00	69.00	19.00	1.52	3.96	5.10	35668.03	42911.93
9EP10-9*2 ³ / ₄	228.00	69.00	19.00	3.42	3.96	10.52	86175.04	86154.07
9EP12-9*2 ³ / ₄	228.00	69.00	19.00	2.66	3.96	8.26	66104.18	68401.97
9EP14-9*2 ³ / ₄	228.00	69.00	19.00	1.90	3.96	5.96	43753.05	48851.73
9EP16-9*2 ³ / ₄	228.00	69.00	19.00	1.52	3.96	4.79	32260.50	36962.73
8EP10-8*2 ³ / ₄	203.00	69.00	19.00	3.42	3.96	9.82	73630.71	73607.12
8EP12-8*2 ³ / ₄	203.00	69.00	19.00	2.66	3.96	7.72	56525.21	58526.59
8EP14-8*2 ³ / ₄	203.00	69.00	19.00	1.90	3.96	5.57	37272.91	41844.95
8EP16-8*2 ³ / ₄	203.00	69.00	19.00	1.52	3.96	4.48	29019.54	31850.68
7EP10-7*2 ³ / ₄	177.00	69.00	19.00	3.42	3.96	9.12	61376.30	61349.20
7EP12-7*2 ³ / ₄	177.00	69.00	19.00	2.66	3.96	7.17	47183.12	48873.18
7EP14-7*2 ³ / ₄	177.00	69.00	19.00	1.90	3.96	5.18	30979.13	35002.88
7EP16-7*2 ³ / ₄	177.00	69.00	19.00	1.52	3.96	4.17	24247.50	26340.14
6EP10-6*2	152.00	50.00	19.00	3.42	3.96	7.38	39984.17	40034.02
6EP12-6*2	152.00	50.00	19.00	2.66	3.96	5.82	32081.43	32061.20
6EP14-6*2	152.00	50.00	19.00	1.90	3.96	4.21	23583.27	23572.02
6EP16-6*2	152.00	50.00	19.00	1.52	3.96	3.39	19137.23	19128.95

Tabla I

MÓDULO DE SECCIÓN EFECTIVO S_{ex} , CON RESPECTO AL EJE FUERTE DE LA SECCIÓN PARA PERFILES Z LAMINADOS EN FRÍO

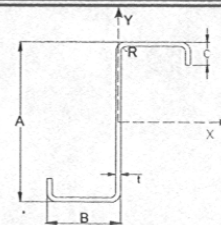


Fabricante: PROLAMSA

DESIGNACION	DIMENSIONES DE LA SECCION					PROPIEDADES DE LA SECCION		
	D mm	B mm	d mm	t mm	R mm	PESO (Kg/m)	Sex (mm ³) <i>Fy = 3514 kg/cm²</i>	Sex (mm ³) <i>Fy = 2319 kg/cm²</i>
5EP10-5*2	127.00	50.00	19.00	3.42	3.96	6.68	31237.76	31269.24
5EP12-5*2	127.00	50.00	19.00	2.66	3.96	5.27	25151.45	25127.31
5EP14-5*2	127.00	50.00	19.00	1.90	3.96	3.82	18549.77	18536.23
5EP16-5*2	127.00	50.00	19.00	1.52	3.96	3.08	15077.21	15067.36
4EP10-4*2	101.00	50.00	19.00	3.42	3.96	5.98	22957.69	22966.81
4EP12-4*2	101.00	50.00	19.00	2.66	3.96	4.73	18581.73	18551.46
4EP14-4*2	101.00	50.00	19.00	1.90	3.96	3.44	13772.46	13755.36
4EP16-4*2	101.00	50.00	19.00	1.52	3.96	2.77	11222.80	11209.47
3EP12-3*1 ¹ / ₂	76.00	38.00	19.00	2.66	3.96	3.60	10263.83	10223.67
3EP14-3*1 ¹ / ₂	76.00	38.00	19.00	1.90	3.96	2.40	7691.58	7668.79

Tabla I

MÓDULO DE SECCIÓN EFECTIVO S_{ex} , CON RESPECTO AL EJE FUERTE DE LA SECCIÓN PARA PERFILES Z LAMINADOS EN FRÍO

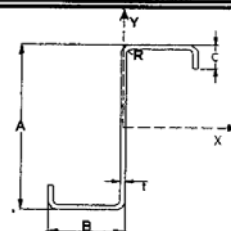


Fabricante: IMCA

DESIGNACION	DIMENSIONES DE LA SECCION					PROPIEDADES DE LA SECCION		
	D mm	B mm	d mm	t mm	R mm	PESO (Kg/m)	Sex (mm ³) <i>Fy = 3514 kg/cm²</i>	Sex (mm ³) <i>Fy = 2319 kg/cm²</i>
76*18	76.2	44.5	10.2	1.21	2.4	1.68	4558.84	5342.91
76*16	76.2	44.5	12.7	1.52	2.4	2.15	6839.73	7132.92
76*14	76.2	44.5	12.7	1.9	2.4	2.66	8605.28	8706.18
76*12	76.2	44.5	17.8	2.66	4.8	3.77	11401.91	11401.91
89*18	88.9	50.8	12.7	1.21	2.4	1.97	6442.10	7008.37
89*16	88.9	50.8	12.7	1.52	2.4	2.45	8248.15	9321.60
89*14	88.9	50.8	15.2	1.9	2.4	3.12	11666.16	11947.62
89*12	88.9	50.8	17.8	2.66	4.8	4.31	15598.94	15598.94
89*10	88.9	50.8	17.8	3.42	4.8	5.44	19242.11	19242.11
102*18	101.6	50.8	12.7	1.21	2.4	2.09	7606.27	8237.74
102*16	101.6	50.8	12.7	1.52	2.4	2.61	9729.85	10933.18
102*14	101.6	50.8	15.2	1.9	2.4	3.31	13721.24	14065.07
102*12	101.6	50.8	17.8	2.66	4.8	4.57	18542.76	18542.76
102*10	101.6	50.8	17.8	3.42	4.8	5.78	22954.54	22954.54
127*18	127	50.8	12.7	1.21	2.4	2.33	10158.15	10921.11
127*16	127	50.8	12.7	1.52	2.4	2.91	12975.37	14440.71
127*14	127	50.8	15.2	1.9	2.4	3.69	18187.17	18654.48
127*12	127	50.8	17.8	2.66	4.8	5.11	24912.47	24912.47
127*10	127	50.8	17.8	3.42	4.8	6.47	30994.57	30994.57
152*16	152.4	63.5	15.2	1.52	2.4	3.58	18765.73	20091.57
152*14	152.4	63.5	17.8	1.9	2.4	4.53	25032.87	28031.47
152*12	152.4	63.5	17.8	2.66	4.8	6.17	36565.06	37263.98
152*10	152.4	63.5	17.8	3.42	4.8	7.84	46621.28	46621.28
178*16	177.8	69.9	15.2	1.52	2.4	4.04	23647.92	25631.51
178*14	177.8	69.9	17.8	1.9	2.4	5.1	31750.11	35335.92
178*12	177.8	69.9	20.3	2.66	4.8	7.08	48230.99	49567.55
178*10	177.8	69.9	20.3	3.42	4.8	9.01	62238.08	62238.08

Tabla I

MÓDULO DE SECCIÓN EFECTIVO S_{ex} , CON RESPECTO AL EJE FUERTE DE LA SECCIÓN PARA PERFILES Z LAMINADOS EN FRÍO



Fabricante: IMCA

DESIGNACION	DIMENSIONES DE LA SECCION					PROPIEDADES DE LA SECCION		
	D mm	B mm	d mm	t mm	R mm	PESO (Kg/m)	Sex (mm ³) Fy = 3514 kg/cm ²	Sex (mm ³) Fy = 2319 kg/cm ²
203*16	203.2	76.2	15.2	1.52	2.4	4.5	27642.76	31239.40
203*14	203.2	76.2	17.8	1.9	2.4	5.67	38939.64	41866.27
203*12	203.2	76.2	20.3	2.66	4.8	7.88	59846.14	62706.06
203*10	203.2	76.2	22.9	3.42	4.8	10.17	80049.56	80049.56
229*16	228.6	82.6	15.2	1.52	2.4	4.96	30888.70	37285.31
229*14	228.6	82.6	17.8	1.9	2.4	6.24	46624.17	50367.79
229*12	228.6	82.6	20.3	2.66	4.8	8.68	70172.70	75495.26
229*10	228.6	82.6	25.4	3.42	4.8	11.34	100114.73	100114.73
254*14	254	88.9	17.8	1.9	2.4	6.82	52525.18	59090.02
254*12	254	88.9	22.9	2.66	4.8	9.59	83899.59	92321.93
254*10	254	88.9	25.4	3.42	4.8	12.37	117395.79	120958.03
305*12	304.8	88.9	22.9	2.66	4.8	10.66	107800.99	117780.08
305*10	304.8	88.9	25.4	3.42	4.8	13.74	150069.41	154498.90

ANEXO II. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL MÓDULO DE SECCIÓN EFECTIVA S_{ex} .

Para determinar el Módulo de Sección Efectiva usado para obtener el Momento de diseño en base al Procedimiento I, seguiremos los siguientes pasos:

- I) Determinar las propiedades efectivas de la sección (en este caso la sección se divide en elementos rectos y circulares, para facilitar su análisis).
- II) Obtener S_{ex} , para el cuál se tienen dos opciones:
 - 1.- Cuando el eje neutro está más cerca del patín de tensión, se puede decir que el esfuerzo se presenta más grande en el patín de compresión y se calcula con las propiedades para elementos atiesados sujetos a compresión uniforme, este caso también es aplicable cuando el eje neutro está justo a la mitad del alma.
 - 2.- Cuando el eje neutro está más cerca del patín de compresión, ocurre lo contrario al caso anterior, dependiendo de donde se encuentre el eje neutro, será el esfuerzo del patín de compresión para lo cuál se considera el área efectiva, por lo general se utilizan iteraciones para calcular las propiedades.
- III) Momentos de Diseño respecto a x.

Propiedades Geométricas Efectivas a Flexión de los Elementos de la Sección.

(a) Propiedades de las Esquinas:

Se obtienen las coordenadas del centroide con respecto a la fibra extrema superior; para las esquinas superior e inferior, en la cual se aplican las siguientes especificaciones (consideramos $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=90^\circ$)

- Esquina Superior: $y_s = (r - c) + (t / 2)$
- Esquina Inferior: $y_i = H - y_s$

donde :

θ = ángulo interior en radianes de los radios en los extremos del elemento circular, (se multiplica por 0.01745, si θ está expresado en grados).

R = distancia radial del centro de curvatura al paño interior de la esquina circular.

r = distancia radial del centro de curvatura al centro de la línea del elemento circular.

$$r = R + t/2$$

ΣL = longitud total de las esquinas superiores e inferiores donde :

$$L = 1.57r$$

c = distancia al centro de gravedad (cg), en dirección paralela y recta desde el inicio de la circular, donde :

$$c = 0.637r$$

(b) Propiedades de los Patines:

- Patín de compresión

Para considerar este aspecto, primero se determinan w y w/t , se considera que para el patín que se encuentra en compresión $f = F_y$:

$$w = B - 2(R + t)$$

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

donde :

w = es la dimensión recta total del patín de compresión.

B = es la dimensión total del patín de compresión.

E = módulo de elasticidad = 2.073×10^6 kg/cm²

S = módulo de sección elástico.

Para determinar el ancho efectivo del patín de compresión se consideran los siguientes casos, si el elemento está sujeto a compresión simple con atiesador de borde:

- Caso I: si $w/t \leq S/3$, entonces

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

$$b_e = w$$

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

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

- Caso II: si $S/3 < w/t < S$, entonces

$$I_a / t^4 = 399[(w/t)/S - (k_u/4)^{1/2}]^3$$

$$n = 1/2$$

$$C_2 = I_s / I_a \leq 1$$

$$C_1 = 2 - C_2$$

b_e , deberá ser calculada de acuerdo a la sección B2.1 del AISI 1996 donde :

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

$$k_u = 0.43 \quad \text{para labios atiesadores simples con } 140^\circ \geq \theta \geq 40^\circ$$

$$\text{y } D/w \leq 0.80$$

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

$$d_s = C_2 d'_s$$

para atiesadores con otra geometría $k_a = 4.0$

$$A_s = C_2 A'_s$$

- Caso III: para $w/t \geq S$

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

C_1, C_2, b, k, d_s, A_s , se calculan acorde al Caso II, con $n = 1/3$

donde :

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

A'_s = área efectiva del atiesador de borde ; la esquina redondeada entre el atiesador y

el elemento a ser atiesado no se considera como parte del atiesador.

C_1, C_2 , = coeficientes.

- D = peralte total del atiesador de borde.
- d_1 = ancho plano del atiesador de borde.
- d_s = ancho efectivo reducido del atiesador de borde calculado acorde a esta sección; se deberá usar para calcular las propiedades efectivas del momento.
- d'_s = ancho efectivo del atiesador calculado acorde a la sección B2.1 del AISI 1996, con $k = 0.43$.
- I_a = momento de inercia del atiesador de borde requerido para que el elemento a compresión se comporte como un elemento atiesado.
- 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.

Ahora para calcular elementos atiesados sujetos a compresión uniforme, el ancho efectivo de diseño b_e se determinará en base a las siguientes expresiones :

$$b_e = w \text{ cuando } \lambda \leq 0.673$$

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

donde :

ρ = es un factor de reducción dado por $\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \leq 1$

w = ancho plano del elemento.

λ = factor de esbeltez dado por $\lambda = [1.052/(k)^{1/2}] [w/t] [f/E]^{1/2}$

t = espesor del elemento sujeto a compresión uniforme.

f = esfuerzo en el acero.

Para elementos sujetos a compresión, $f = F_n$, tal como se define en la sección C4 ó D4.1 del AISI 1996, según el caso aplicable.

- Labio atiesador a compresión

Se determina con la ecuación $d_s = C_2 d'_s$

donde : $d'_s = \rho d_1$,

y la coordenada centroidal para este caso será: $y = d_s / 2 + (R+t)$.

Cuando $\lambda \leq 0.673$ $\rho = 1$

Cuando $\lambda > 0.673$ $\rho = (1 - 0.22/\lambda)/\lambda$

Para el cálculo de λ , se utilizará $k = 0.43$

- Labio atiesador a tensión

Sólo se determina $d_s = d'_s = d$, para obtener la coordenada:

$$Y = H - [d_s/2 + (R+t)].$$

- Patín de tensión

Se define $b = w$, y la coordenada será $y = H - t/2$

(c) Propiedades de las Almas (si se propone 100% efectiva)

$$h = H - 2(R+t)$$

la coordenada centroidal se obtiene $y = H/2$

Cálculo de las Propiedades Geométricas Efectivas en el Eje x para Diseño a Flexión del Perfil "Z"

Con base al estudio de las propiedades geométricas efectivas a flexión, así como a los criterios y métodos de diseño expuestos, se estudiará el caso de propiedades de diseño respecto al eje fuerte (x) de vigas a base de perfiles Z con labios atiesadores.

Cálculo del Eje Neutro

$$Y_{cg} = \Sigma Ly / \Sigma L$$

donde :

ΣLy = suma total de las longitudes efectivas, multiplicadas por sus respectivas "y", de cada elemento.

ΣL = suma de longitud efectiva de todos los elementos.

- Revisión de la efectividad del alma

$$f_1 = F_y(d_1/Y_{cg})$$

$$f_2 = -F_y(d_2/Y_{cg})$$

$$d_1 = Y_{cg} - (R+t)$$

$$d_2 = h - d_1$$

Se determina la carga para almas y elementos atiesados sujetos a gradiente de esfuerzo, como se muestra a continuación.

Para calcular b_1 , se tiene: $b_1 = h_e / (3 - \Psi)$

Para calcular b_2 , se debe considerar el valor de Ψ

si $\Psi \leq -0.236$, entonces, $b_2 = h_e / 2$

si $\Psi > -0.236$, entonces, $b_2 = h_e - b_1$

donde:

b_e = ancho efectivo calculado en base a la sección B2.1, sustituyendo f por f_1 .

Para calcular k , se tiene: $k = 4 + 2(1-\Psi)^3 + 2(1-\Psi)$

donde $\Psi = f_2 / f_1$

NOTA: en caso de que $b_1 + b_2 < d_1$, y lo sobrepase más del 1%, se deberán realizar iteraciones hasta que el valor sea menor del 1%, considerando los nuevos valores que vayan arrojando las iteraciones.

Momento de Inercia Respecto al Eje Fuerte de la Sección Total

Para calcular el momento de inercia con respecto al eje fuerte de la sección total, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_x = I'_x t$$

donde : $I'_x = \Sigma I_{xx} + \Sigma L_y^2 + \Sigma Y_{cg}^2 \Sigma L$



ΣI_{xx} = suma de inercias de todos los elementos, excepto los de bajo valor, ya que se desprecian, $I_{xx} = (1/12)L^3$

Módulo de Sección con Respecto a "x":

$$S_{ex} = I_x / Y_{cg}$$

ANEXO III. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CÁLCULO DEL S_{ex}

Propiedades del acero y dimensiones del elemento.

Anchos planos.

Relación ancho plano a espesor del miembro

Fluencia inicial a compresión

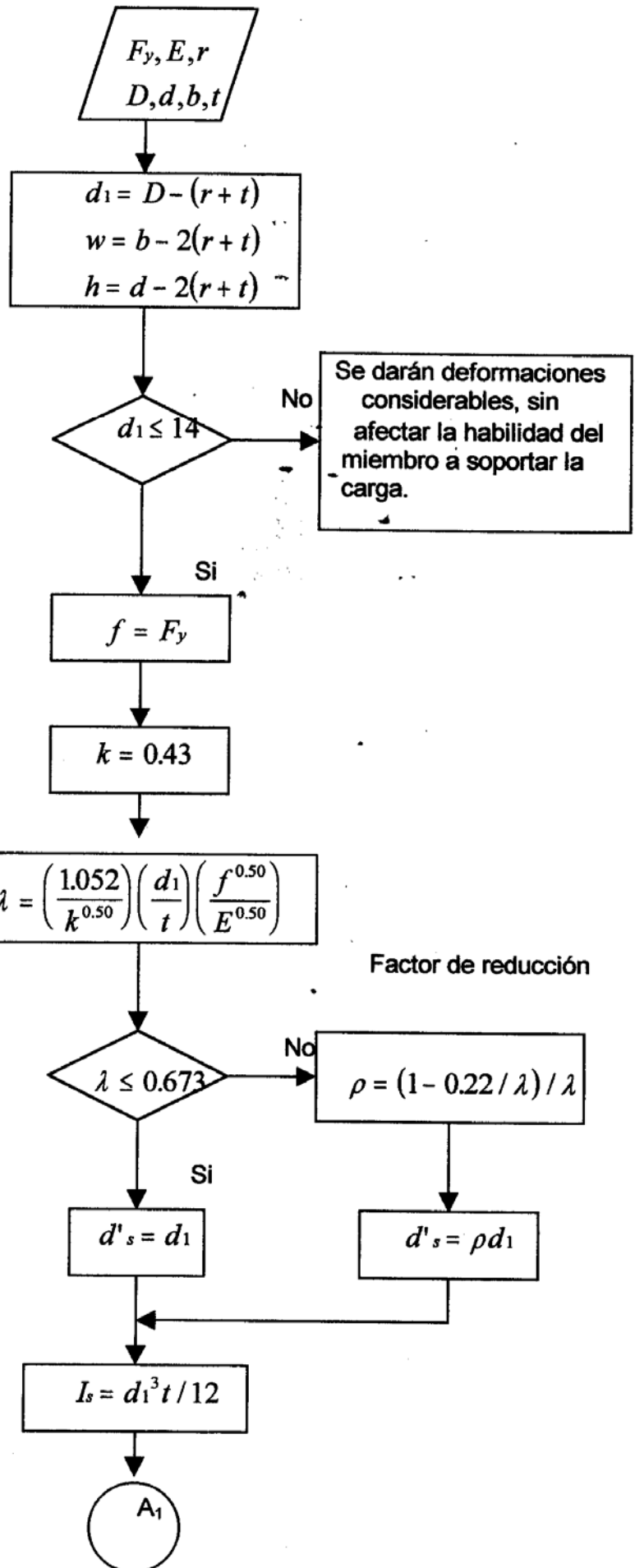
Coef. de pandeo del labio

Factor de esbeltez del labio

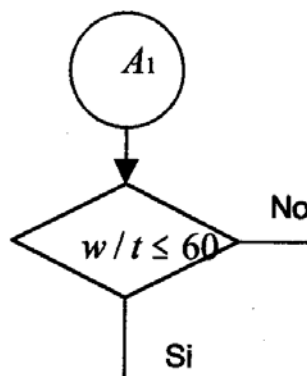
Factor de reducción

Labio reducido

Inercia del labio



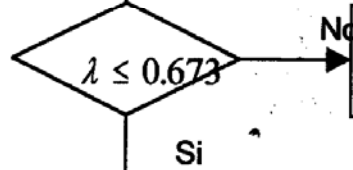
Relación ancho plano a espesor del patín



Se darán deformaciones considerables, sin afectar la habilidad del miembro a soportar la carga.

Factor de esbeltez del patín.

$$\lambda = \left(\frac{1.052}{k^{0.50}} \right) \left(\frac{w}{t} \right) \left(\frac{f^{0.50}}{E^{0.50}} \right)$$



Factor de reducción

$$\rho = (1 - 0.22 / \lambda) / \lambda$$

Ancho patín efectivo del alma

$$b_e = w$$

$$b_e = \rho w$$

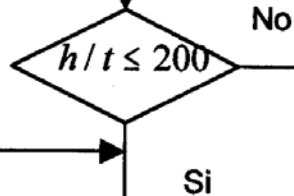
$$i = 1$$

Primera posición del eje neutro

$$Y_{ti} = \sum Ld / \sum L$$

$$Y_{ci} = d - Y_{ti}$$

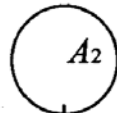
Relación ancho plano a espesor del patín



Se darán deformaciones considerables, sin afectar la habilidad del miembro a soportar la carga.

$$\beta$$





Esfuerzos en la fibra extrema

de la porción plana

$$f_{1i} = f(Y_{ci} - r - t) / Y_{ci}$$

$$f_{2i} = f(Y_{ti} - r - t) / Y_{ci}$$

Coef. de pandeo del alma

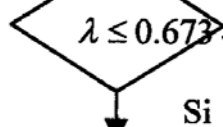
$$\Psi_i = f_{2i} / f_{1i}$$

$$k_i = 4 + 2(1 - \Psi)^3 + 2(1 + \Psi)$$

Factor de esbeltez del alma

$$\lambda = \left(\frac{1.052}{k_i^{0.50}} \right) \left(\frac{h}{t} \right) \left(\frac{f_{1i}^{0.50}}{E^{0.50}} \right)$$

Factor de reducción



No

$$\rho = (1 - 0.22 / \lambda) / \lambda$$

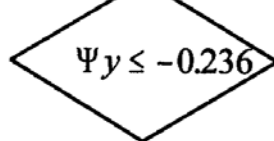
Si

$$h_{ei} = h$$

$$h_{ei} = \rho h$$

Ancho plano efectivo del alma

$$b_{1i} = h_{ei} / (3 + \Psi)$$



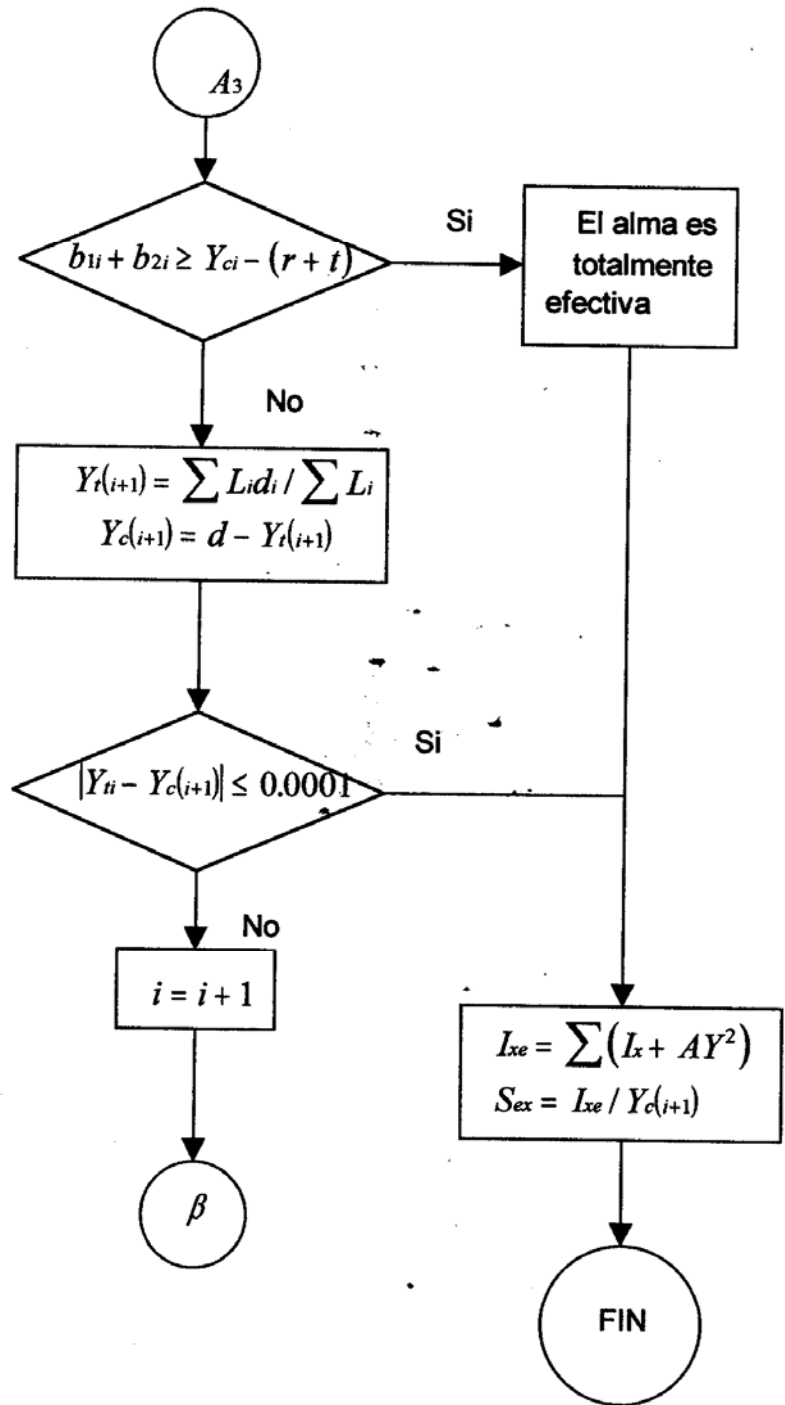
No

$$b_{2i} = h_{ei} - b_{1i}$$

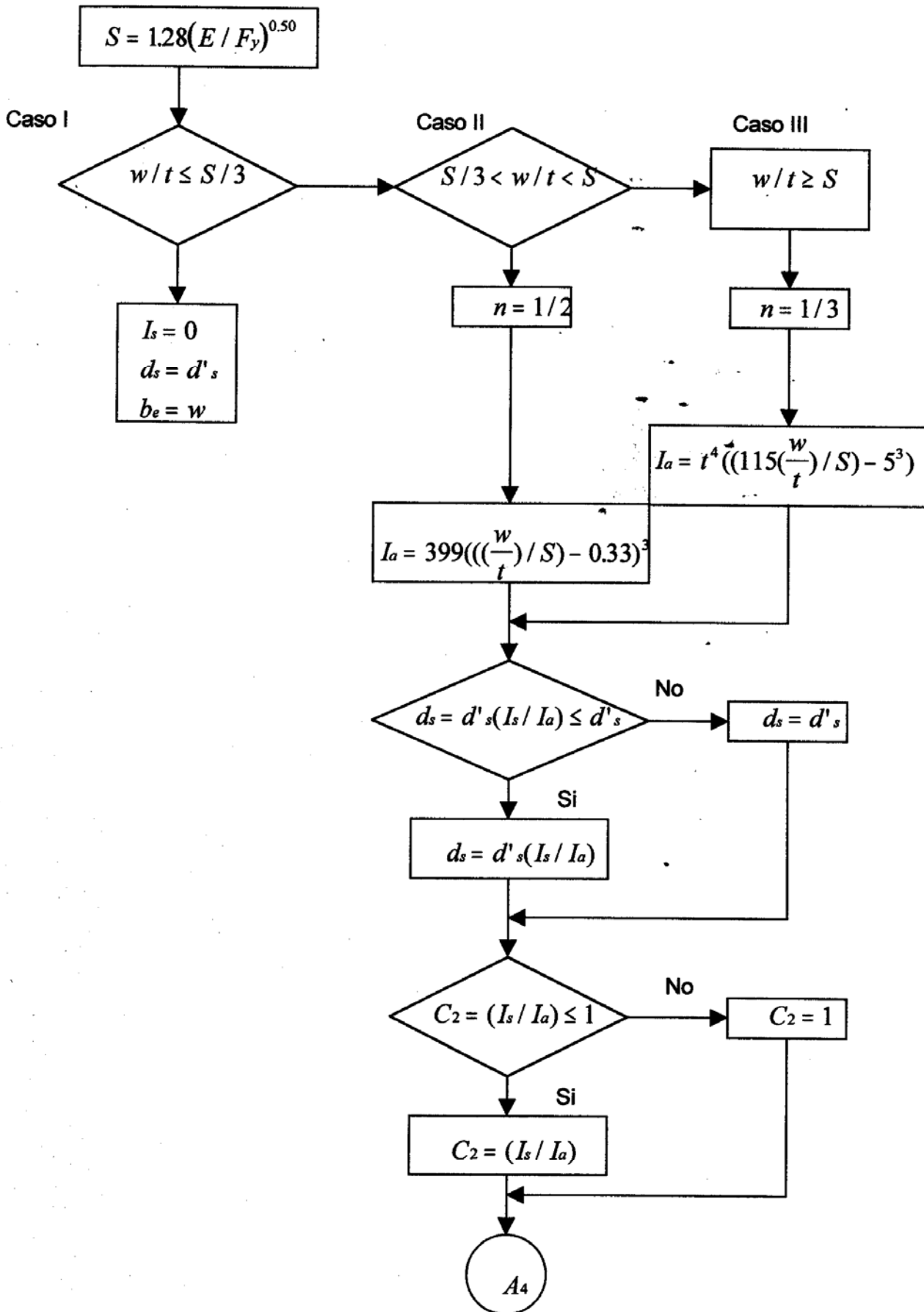
Si

$$b_{2i} = h_{ei} / 2$$





Subrutina d_s, k



BIBLIOGRAFÍA

Peña Ramos, Carlos E. "Diseño Básico de Perfiles Laminados en Frío, Notas de Curso de Titulación". Universidad de Sonora, Primera Edición (2000). Hermosillo, Sonora.

Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A. C.
Manual de Construcción en Acero – Dep.
Edición Limusa, Tercera Edición.

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". Universidad de Sonora, Primera Edición (2001).

Tablas de Fabricantes:

- **PROLAMSA: Canales y Zetas de acero de alta resistencia formados en frío con dos patines atiesadores.**