

**F.4.8.5 - SECCIONES COMPUESTAS CON LAMINA CORRUGADA DE ACERO** - La construcción compuesta de placas de concreto sobre láminas corrugadas de acero conectadas a vigas de acero se diseñará de acuerdo con F 4 8.1 a F 4 8.4, con las siguientes modificaciones:

**F.4.8.5.1 - Generalidades**

- (1) F.4 8 5 se aplica a tableros con altura nominal de la ondulación no mayor que 75 mm
- (2) El ancho promedio de la nervadura de concreto o capitel,  $w_r$ , no deberá ser menor que 50 mm pero no deberá ser tomado en los cálculos como más que la mínima distancia libre en la parte superior del tablero de acero. Véase F 4 8.5.3 (2) y (3) para los requisitos adicionales
- (3) La losa de concreto se conectará a la viga de acero a través de espigos soldados transmisores de corte, de 19 mm (3/4") de diámetro o menos (AWS D-1.1, Sección 7, Parte F). Los conectores de espigo se soldarán a través del tablero metálico o directamente al miembro metálico.
- (4) Los conectores de espigo deberán sobresalir por lo menos 38 mm por encima de la parte superior del tablero metálico después de su instalación.
- (5) El espesor de la losa por encima del tablero metálico no deberá ser menor de 50 mm

**F.4.8.5.2 - Tableros metálicos de lámina corrugada, con sus salientes perpendiculares a las vigas de acero**

- (1) El concreto por debajo de la parte superior del tablero de acero debe despreciarse en la determinación de las propiedades de la sección y en el cálculo de  $A_c$  para la fórmula F.4-38.
- (2) El espaciamiento longitudinal de los conectores de espigo no deberá ser mayor de 900 mm
- (3) La fuerza horizontal de corte admisible por espigo,  $q$ , será la estipulada en F 4.8.4 (tablas F 4-2 y F.4-3) multiplicada por el siguiente coeficiente de reducción

$$\left( \frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \right) \left( \frac{W_r}{h_r} \right) \left( \frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0 \quad (F.4-41)$$

en donde.

- $h_r$  = altura nominal de los salientes, mm
- $H_s$  = longitud del conector de espigo después de soldado, que no exceda el valor  $(h_r+75)$  en el cálculo, aunque la longitud real sea mayor, mm
- $N_r$  = número de conectores de la viga en una saliente del tablero que no exceda de 3 en los cálculos, aunque haya instalados más
- $w_r$  = ancho promedio del saliente de concreto (véase F.2.15 5.1, (2)), mm

- (4) Para prevenir el levantamiento, el tablero metálico deberá anclarse a todas las vigas de acero diseñadas para acción compuesta, a espaciamientos no mayores de 400 mm. Tal anclaje puede proporcionarse con conectores de espigo o mediante una combinación de ellos y soldadura de punto u otro sistema especificado por el diseñador

**F.4.8.5.3 - Tableros metálicos de lámina corrugada, con sus salientes paralelas a las vigas de acero**

- (1) El concreto por debajo de la parte superior del tablero de acero debe incluirse en la determinación de las propiedades de la sección y en el cálculo de  $A_c$  para la fórmula F.4-36
- (2) Los salientes de la lámina corrugada, podrán cortarse longitudinalmente y separarse para formar un capitel de concreto.

- (3) Cuando la altura nominal del tablero de acero sea de 38 mm o más el ancho promedio,  $w_r$ , del capitel soportado o el saliente no deberá ser menor de 50 mm para el primer conector en la fila transversal más 4 diámetros del mismo para cada espigo adicional.
- (4) La fuerza cortante horizontal admisible para cada conector de espigo,  $q$ , será el valor dado en F.4.8.4 (tablas F.4-2 y F.4-3), multiplicado por el siguiente coeficiente de reducción:

$$0.6 \left( \frac{w_r}{h_r} \right) \left[ \frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right] \leq 1.0 \quad (\text{F.4-42})$$

excepto cuando la relación  $w_r/h_r$  sea menor de 1.5.  $H_s$  y  $h_r$  están definidas en F.4.8.5.2 y  $w_r$  es el ancho promedio de la nervadura de concreto o capitel (véanse F.4.8.5.1(2) y F.4.8.5.3(3)).

**F.4.8.6 - CASOS ESPECIALES** - Cuando la construcción compuesta no se acomoda a los requerimientos de F.4.8.1 a F.4.8.5 la fuerza admisible por conector debe establecerse mediante un adecuado programa de ensayos

## **F.4.9 CONEXIONES, JUNTAS Y CONECTORES**

### **F.4.9.1 - GENERALIDADES**

**F.4.9.1.1 - Bases de diseño** - Las conexiones deben diseñarse de tal forma que el esfuerzo calculado sea menor que el esfuerzo admisible determinado.

(1) por análisis estructural de las cargas actuantes sobre la estructura o

(2) como una proporción especificada de la resistencia de los miembros conectados, aplicable según el caso

**F.4.9.1.2 - Miembros a compresión con uniones que transmiten cargas por aplastamiento** - Todas las uniones a compresión se diseñarán para que resistan cualquier tensión que pueda presentarse al combinar las cargas laterales especificadas con el 75 por ciento del esfuerzo calculado de las cargas muertas y ninguna carga viva

**F.4.9.1.3 - Conexiones de miembros de armaduras, sometidos a tensión o compresión** - Las conexiones de los extremos de miembros de armaduras sometidos a tensión o compresión, deberán poder transmitir la fuerza causada por las cargas de diseño, pero no menos del 50 por ciento de la resistencia efectiva del miembro, a menos que se justifique un porcentaje menor mediante un análisis de ingeniería que considere otros factores que incluya manejo, embarque y montaje.

**F.4.9.1.4 - Conexiones mínimas** - Las conexiones que según el cálculo hayan de transmitir esfuerzos deberán diseñarse para soportar una carga no inferior a 2.7T. Se exceptúan las correspondientes a elementos de enlace, rostras y templetes

**F.4.9.1.5 - Empalmes en perfiles pesados** - La presente sección es aplicable a perfiles laminados ASTM A6, grupos 4 y 5, o a perfiles ensamblados, mediante platinas soldadas con espesores superiores a 50 mm. que en conjunto forman la sección transversal la cual estará sometida a esfuerzos principales de tensión debidos a tensión o flexión

Cuando en estas secciones se transmiten fuerzas de tensión a través de uniones soldadas con soldaduras de penetración total, se aplican los requisitos de tenacidad de material dados en F.2.1.3.2, los detalles de agujeros de acceso dados en F.4.9.1.6, los procedimientos de soldadura compatible dados en F.4.9.2.2, los requisitos de precalentamiento de soldadura dados en F.4.9.2.3 y los requisitos de preparación de superficies cortadas térmicamente e inspección dados en F.2.13.2.2

En las uniones a tensión se deben remover las salientes de soldadura y el material de soporte y las superficies deben quedar bien pulidas

Todos los agujeros de acceso que se requieran en las uniones de miembros principales a compresión de estos perfiles, deben satisfacer las estipulaciones de F 4 9 1.6 para facilitar las operaciones de soldaduras acanaladas.

Alternativamente la unión de tales miembros solicitados a compresión, incluyendo miembros sometidos a tensión por efecto de cargas de viento o sísmicas, puede lograrse utilizando detalles de empalmes que no induzcan deformaciones considerables de contracción de soldadura tales como soldaduras acanaladas de penetración parcial en las aletas y en el alma, empalmes de platina superpuestos con filetes de soldadura, o con empalmes de platina superpuestos empernados o con una combinación de estos dos últimos.

**F.4.9.1.6 - Despuntes de vigas y agujeros de acceso de soldadura** - Todos los agujeros de acceso de soldadura necesarios para facilitar las operaciones de soldadura deben tener una longitud desde el borde de ésta no inferior a 1 5 veces el espesor del material en que se hace el agujero. La altura del agujero de acceso debe ser adecuada para el depósito de material de soldadura en las platinas adyacentes y proporcionar espacio libre entre las salientes de soldadura. Todos los despuntes de vigas y los agujeros de acceso que se hagan en perfiles laminados en caliente y perfiles fabricados, deben estar libres de incisiones y esquinas entrantes abruptas excepto que los agujeros de acceso pueden terminar perpendicularmente en la aleta, cuando se utilizan soldaduras de filete alma-aleta en secciones fabricadas.

Las superficies de despuntes de vigas cortados térmicamente y los agujeros de acceso de soldadura para perfiles de los grupos 4 y 5 y secciones fabricadas de materiales de espesores superiores a 50 mm, deben pulirse hasta obtener un acabado brillante e inspeccionarse bien sea por el método de partículas magnéticas o el de penetrantes de tinte. No se requiere pulir la parte de transición curva de agujeros de acceso y despuntes de vigas cuando éstos se han hecho por medio de taladro o segueta.

Los agujeros de acceso para soldadura y los despuntes de vigas en secciones diferentes a las antes mencionadas no requieren ser pulidos o inspeccionados con penetrantes de tinte o partículas magnéticas

**F.4.9.1.7 - Colocación de soldaduras, pernos y remaches** - Los grupos de soldaduras, pernos y remaches en los extremos de cualquier miembro y que deban transmitirle esfuerzos axiales, se han de disponer en forma tal que su centroide coincida con el del miembro, a menos que se hayan tomado medidas para absorber el efecto de la excentricidad. La anterior estipulación no se aplica a las conexiones en los extremos de elementos de ángulos sencillos, de ángulos dobles y de elementos similares cargados estáticamente. En elementos del tipo anterior cargados estáticamente y conectados mediante pernos o remaches, puede desprejarse la excentricidad entre los ejes centroidales de los elementos y los ejes de gramiles de sus conexiones. Tal excentricidad deberá considerarse, en cambio, cuando se trate de miembros sometidos a cargas que produzcan fatiga. Véase F.4.9.3.6 para la colocación de conectores en miembros fabricados hechos de aceros resistentes a los agentes atmosféricos

## **F.4.9.2 - SOLDADURAS**

**F.4.9.2.1 - Esfuerzos admisibles** - Las soldaduras deberán diseñarse en forma tal que cumplan los requisitos de esfuerzos establecidos en la tabla F.4-4, salvo lo estipulado en F 4 10 1 4.

**F.4.9.2.2 - Aleación de metal de soldadura** - Siempre que se especifique tenacidad de material, los consumibles del proceso para todo el material de soldadura, soldadura punteada, paso inicial y pasos subsiguientes, depositados en una unión, deben ser compatibles para garantizar un metal de soldadura compuesto rígido

**F.4.9.2.3 - Pre calentamiento de perfiles pesados** - Cuando se realizan empalmes de soldaduras acanaladas en perfiles ASTM A6, grupos 4 y 5, y en miembros soldados fabricados de platinas con espesores superiores a 50 mm, deben someterse a un pre calentamiento igual o superior a 177°C

### F.4.9.3 - PERNOS, PARTES ROSCADAS Y REMACHES

**F.4.9.3.1 - Esfuerzo admisible a tensión y cortante** - Los esfuerzos admisibles a tensión y cortante sobre pernos, remaches, y partes roscadas (kgf por milímetro cuadrado del área de remaches antes de colocarlos o del área sin roscar del cuerpo del perno, y partes roscadas como se indica) deben ser los indicados en la tabla F.4-5. Los pernos de alta resistencia requeridos para soportar cargas aplicadas por medio de tensión directa, deben ser escogidos de tal forma que su esfuerzo promedio a tensión, calculado sobre la base del área nominal del perno e independiente de cualquier fuerza inicial de tensionamiento, no exceda los esfuerzos apropiados dados en la tabla F.4-5. La carga aplicada debe ser la suma de la carga externa y de cualquier tensión resultante de la acción de tenaza, producida por la deformación de las partes conectadas.

Cuando se especifica en el diseño, la resistencia nominal al deslizamiento para conexiones que tengan condiciones especiales de superficies de contacto puede incrementarse hasta los valores aplicables en la "Especificación para Juntas Estructurales que utilizan pernos ASTM A325 o NTC 4028 (ASTM A490)" de la RCSC.

En conexiones de deslizamiento crítico diseñadas sobre la base de perforaciones estándares pueden insertarse platinas de relleno hasta de 6.3 mm sin reducir el esfuerzo cortante admisible a aquel especificado para perforaciones alargadas.

El diseño de pernos, partes roscadas y remaches sometidos a cargas que producen fatiga se regirá de acuerdo con F.4.13.1.3.

**F.4.9.3.2 - Esfuerzo cortante y de tensión combinados en conexiones tipo aplastamiento** - Los pernos y remaches solicitados por esfuerzos cortantes combinados con tensión deben diseñarse de manera que el esfuerzo a tensión,  $F_t$ , en kgf/mm<sup>2</sup>, calculado con base en el área nominal del cuerpo,  $A_b$ , y producido por las fuerzas aplicadas a las piezas conectadas, no exceda de los valores calculados mediante las fórmulas de la tabla F.4-6, en donde el esfuerzo cortante producido por las mismas fuerzas,  $f_v$ , no debe exceder de los valores admisibles estipulados en la tabla F.4-5. Cuando los esfuerzos admisibles son incrementados al considerar cargas por viento o sismo de acuerdo con F.4.1.2, las constantes en las fórmulas de la tabla F.4-6 se incrementarán en 1/3, pero el factor aplicado a  $f_v$  no debe incrementarse.

**F.4.9.3.3 - Esfuerzo cortante y de tensión combinados en conexiones de deslizamiento crítico** - Para pernos A-325 y A-490 empleados en juntas de deslizamiento crítico, el máximo esfuerzo cortante admisible dado por la tabla F.4-5, debe multiplicarse por el coeficiente de reducción  $(1 - f_t A_b / T_b)$ , en donde  $f_t$  es el esfuerzo promedio a tensión producido por una carga directa aplicada a todos los pernos en la unión y  $T_b$  la carga de pretensionamiento del perno especificada en la tabla F.2-8. Cuando los esfuerzos admisibles se incrementan para fuerzas de viento o sismo de acuerdo con F.4.1.2, el esfuerzo cortante admisible reducido, debe incrementarse en 1/3.

**F.4.9.3.4 - Esfuerzo de aplastamiento admisible en perforaciones de pernos** - Sobre el área proyectada de pernos y remaches en conexiones sometidas a corte con la distancia extrema en la línea de acción de la fuerza no menor que 1.5d y la distancia entre centros de pernos no menor que 3d:

(1) En perforaciones estándares o poco alargadas con dos o más pernos en la línea de acción de la fuerza,

$$F_p = 1.2 F_u \quad (F.4-43)$$

er. donde:

$$F_p = \text{esfuerzo admisible de aplastamiento, kgf/mm}^2.$$

(2) En perforaciones muy alargadas con el eje de la ranura perpendicular a la dirección de la carga con dos o más pernos en la línea de acción de la fuerza,

$$F_p = 1.0 F_u \quad (F.4-44)$$

**NSR-98 – Capítulo F.4 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados; diseño para esfuerzos admisibles**

Sobre el área proyectada del perno o remache más cercano al borde en perforaciones estándares o poco alargadas con la distancia al borde menor que  $1.5d$  y en todas las conexiones con un solo perno en la línea de acción de la fuerza:

$$F_p = \frac{L_c F_u}{2d} \leq 1.2 F_u \quad (F.4-45)$$

en donde:

- $L_c$  = distancia desde el borde libre al centro del perno, mm  
 $d$  = diámetro del perno, mm

**Tabla F.4-4 - Esfuerzo admisible en soldaduras (f)**

Tipo de Soldadura y esfuerzo (a)	Esfuerzo admisible	Nivel requerido de resistencia de la soldadura (b), (c)
<b>Soldaduras de surco de penetración total</b>		
Tensión normal al área efectiva	El mismo del metal de base	Se debe utilizar metal de soldadura "compatible"
Compresión normal al área efectiva	El mismo del metal de base	Se permite metal de soldadura con resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible"
Tensión o compresión paralelas al eje de la soldadura	El mismo del metal de base	
Corte sobre el área efectiva	0.30 x la resistencia nominal a tensión del metal de la soldadura (kgf/mm <sup>2</sup> )	
<b>Soldaduras de surco de penetración parcial (d)</b>		
Compresión normal al área efectiva	El mismo del metal de base	Se permite metal de soldadura con resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura (e)	El mismo del metal de base	
Corte paralelo al eje de la soldadura	0.30 x la resistencia nominal a tensión del metal de la soldadura (kgf/mm <sup>2</sup> )	
Tensión normal al área efectiva	0.30 x la resistencia nominal a tensión del metal de la soldadura (kgf/mm <sup>2</sup> ), excepto que el esfuerzo de tensión sobre el metal base no excederá 0.60 x el esfuerzo de fluencia del metal base	
<b>Soldaduras de filete</b>		
Corte sobre el área efectiva (a)	0.30 x la resistencia nominal a tensión del metal de la soldadura (kgf/mm <sup>2</sup> )	Se permite metal de soldadura con resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura (e)	El mismo del metal de base	
<b>Soldaduras de tapón y ranura</b>		
Corte paralelo a las superficies unidas (sobre el área efectiva)	0.30 x la resistencia nominal a tensión del metal de la soldadura (kgf/mm <sup>2</sup> )	Se permite metal de soldadura con resistencia igual o menor al de la soldadura "compatible"

**Notas:**

- (a) Véase en F.2.10.2.1.1 la definición de área efectiva.  
 (b) Los metales de soldadura "compatibles" están dados en la tabla 4.1-1 de la Norma AWS D 1.1.  
 (c) Se permitirá metal de soldadura con una resistencia superior en un nivel a la del metal de soldadura "compatible".  
 (d) En F.2.10.2.1.2(b) se limita el uso de juntas soldadas de surco de penetración parcial.  
 (e) Las soldaduras de filete y las de surco de penetración parcial que unen los componentes de miembros ensamblados, como por ejemplo las conexiones entre aleta y alma, pueden diseñarse sin considerar los esfuerzos a tensión o a compresión en estos elementos, que actúan paralelos a los ejes de las soldaduras.  
 (f) El diseño del material conectado está gobernado por F.4.3 a F.4.6.

**Tabla F.4-5  
Esfuerzos admisibles en sujetadores (kgf/mm<sup>2</sup>)**

Descripción de los Sujetadores	Tensión Admisible F <sub>t</sub> (g)	Cortante Admisible (F <sub>v</sub> ) (g)				Conexiones tipo Aplastamiento (i)
		Conexiones de deslizamiento crítico con huecos (e, i)			Carga Paralela (f)	
		Perforaciones estándares	Perforaciones grandes o alargadas	Perforaciones muy alargadas		
				Carga Transversal		
Remaches NTC 4033 (ASTM A502) Grado 1 colocados en caliente	(a) 16.2					(f) 12.3
Remaches NTC 4033 (ASTM A502) Grado 2 y 3 colocados en caliente	(a) 20.4					(f) 15.5
Pernos NTC 4034 (ASTM A307) (Grado 2)	(a) 14.1					(b, f) 7.0
Partes roscadas que cumplan los requisitos de F.2.3.3 y F.2.3.4, pernos NTC 858 (ASTM A449) (Grado 4, NTC 858) que cumpla los requisitos de F.2.3.4 cuando el plano de corte queda en la parte roscada	(a, c, h) 0.33F <sub>t</sub>					(h) 0.17F <sub>t</sub>
Igual al anterior cuando el plano de corte no queda en la parte roscada	(a, h) 0.33F <sub>t</sub>					(h) 0.22F <sub>t</sub>
Pernos ASTM A325 Grado 5, cuando el plano de corte queda en la parte roscada	(d) 30.9	12.0	10.5	8.4	7.0	(f) 14.8
Igual al anterior cuando el plano de corte no queda en la parte roscada	(d) 30.9	12.0	10.5	8.4	7.0	(f) 21.1
Pernos NTC 4028 (ASTM A490) (Grado 8) cuando el plano de corte queda en la parte roscada	(d) 38.0	14.8	12.7	10.5	9.1	(f) 19.7
Igual al anterior cuando el plano de corte no queda en la parte roscada	(d) 38.0	14.8	12.7	10.5	9.1	(f) 28.1

**Notas:**

- (a) Únicamente para carga estática.
- (b) Permitidas las roscas en el plano de corte.
- (c) La capacidad a tensión de la porción roscada de una barra con extremos ensanchados, basada en el área de la sección correspondiente al diámetro mayor de la rosca, A<sub>s</sub>, deberá ser mayor que el valor obtenido al multiplicar 0.6F<sub>t</sub> por el área nominal del cuerpo de la barra antes de su ensanchamiento.
- (d) Véase F.4.13.1.3 cuando se trate de pernos ASTM A325 y NTC 4028 (ASTM A490) sujetos a cargas que produzcan fatiga.
- (e) Clase A (Coeficiente de deslizamiento 0.33). Superficies libres de escamas de laminado y limpiadas con chorro de arena y revestimiento Clase A. Cuando lo especifique el diseñador pueden incrementarse los esfuerzos admisibles a corte, F<sub>v</sub>, en conexiones de deslizamiento crítico, cuyas superficies de contacto tengan condiciones especiales, a los valores aplicables dados en las especificaciones del RCSC.
- (f) Los valores tabulados deben reducirse en un 20% cuando las conexiones tipo aplastamiento utilizadas para unir miembros a tensión, tengan una línea de sujetadores cuya longitud, medida en la dirección paralela a la de las fuerzas sea mayor que 1270 mm.
- (g) Véase F.4.1.2.

**NSR-98 – Capítulo F.4 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados; diseño para esfuerzos admisibles**

- (h) Véase la tabla 2, sección de valores numéricos para los valores correspondientes a los diferentes aceros según las normas ASTM.
- (i) En F.2.10.3.7 se establecen limitaciones para el uso de perforaciones sobredimensionadas y alargadas.
- (j) Dirección de aplicación de la carga con relación al eje largo de la ranura.

Si la deformación alrededor de la perforación no es una consideración de diseño y se requiere un espaciamiento adecuado y una distancia al borde de acuerdo con F.4.9.3.4 y F.4.9.3.5 respectivamente se permite la siguiente fórmula en lugar de la fórmula F.4-43:

$$F_p = 1.5F_u \quad (F.4-46)$$

En consecuencia el límite de la fórmula F.4-45 se incrementará a  $1.5F_u$ .

**Tabla F.4-6  
Esfuerzo admisible a tensión ( $F_t$ ) de sujetadores en conexiones tipo aplastamiento ( $\text{kgf/mm}^2$ )**

Descripción de los sujetadores	Partes roscadas incluidas en el plano de corte	Partes roscadas excluidas del plano de corte
Pernos Grado 2, NTC 4034 (ASTM A307)	$18 - 1.8f_u \leq 14$	
Partes roscadas Pernos Grado 4 NTC 858 (ASTM A449), Diámetros superiores a 38.1 mm	$0.43F_u - 1.8f_u \leq 0.33F_u$	$0.43F_u - 1.4f_u \leq 0.33F_u$
Pernos Grado 5, ASTM A325	$\sqrt{31^2 - 4.39f_u^2}$	$\sqrt{31^2 - 2.15f_u^2}$
Pernos Grado 8, NTC 4028 (ASTM A490)	$\sqrt{38^2 - 3.75f_u^2}$	$\sqrt{38^2 - 1.82f_u^2}$
Remaches Grado 1, NTC 4033 (ASTM A502)	$21 - 1.3f_u \leq 16$	
Remaches Grado 2, NTC 4033 (ASTM A502)	$27 - 1.3f_u \leq 20$	

**F.4.9.3.5 - Separación mínima** - La distancia mínima entre centros de perforaciones estándares agrandadas o alargadas para colocar remaches o pernos no podrá ser inferior a  $2 \frac{2}{3} d$  y se preferirá que sea igual a  $3d$ , en donde  $d$  es el diámetro nominal del respectivo elemento de conexión. Además no podrá ser menor a la establecida en el siguiente numeral cuando éste sea aplicable.

A lo largo de una línea paralela a la línea de acción de la fuerza transmitida, la distancia entre centros de perforaciones  $s$  no podrá ser inferior a  $3d$  cuando  $F_p$  se determina por las fórmulas F.4-43 y F.4-44. De lo contrario  $s$  no podrá ser inferior a la siguiente:

- (a) Para perforaciones estándares:

$$s \leq \frac{2P}{F_u t} + \frac{d}{2} \quad (F.4-47)$$

en donde:

- $P$  = fuerza transmitida por un elemento de conexión a la parte crítica conectada, en kgf
- $F_u$  = resistencia a la tensión mínima especificada de la parte crítica conectada, en  $\text{kgf/mm}^2$
- $t$  = espesor de la parte crítica conectada, mm

- (b) Para perforaciones agrandadas y alargadas, la distancia requerida en el subnumeral anterior para las perforaciones estándares, más el incremento aplicable,  $C_1$ , dado en la tabla F.2-12, con el requisito adicional que la distancia libre entre perforaciones no sea inferior al diámetro del perno.

**F.4.9.3.6 - Distancia mínima al borde** - La distancia del centro de una perforación estándar a cualquier borde de una parte conectada no será inferior al valor aplicable de la tabla F.2-13 ni al valor dado en la fórmula F.4-48, según corresponda.

A lo largo de la línea de acción de la fuerza transmitida, la distancia del centro de una perforación estándar al borde de la parte conectada  $L_c$  no será inferior a  $1.5d$  cuando  $F_p$  se determina por las fórmulas F.4-43 o F.4-44. De lo contrario la distancia al borde no será inferior a

$$L_c \leq \frac{2P}{F_u t} \quad (\text{F.4-48})$$

en donde  $P$ ,  $F_u$  y  $t$  tienen el mismo significado que en F.4.9.3.5.

La distancia del centro de una perforación agrandada o alargada al borde de una parte conectada no será inferior a la prevista para una perforación estándar, más el incremento aplicable,  $C_1$ , dado en la tabla F.2-14.

**F.4.9.4 - ESFUERZO ADMISIBLE DE ROTURA POR CORTANTE** - En conexiones del extremo de una viga cuando la arista superior está despuntada y en situaciones similares en que la falla puede ocurrir por corte a lo largo de un plano que pasa por los elementos de conexión, o por una combinación de corte a lo largo de dicho plano y tensión a lo largo de un plano perpendicular:

$$F_v = 0.30 F_u \quad (\text{F.4-49})$$

que actúa sobre el área neta de corte  $A_v$ , y,

$$F_t = 0.50 F_u \quad (\text{F.4-50})$$

que actúa sobre el área neta de tensión  $A_t$ .

La trayectoria neta mínima de falla deberá investigarse en la periferia de conexiones soldadas (Véanse F.2.2.2 y las figuras C-F.4.9.4.1, C-F.4.9.4.2, C-F.4.9.4.3 y C-F.4.9.4.4 de los comentarios).

**F.4.9.5 - ELEMENTOS DE CONEXIÓN** - Este numeral se aplica al diseño de elementos de conexión, tales como atiesadores, cartelas, ángulos, ménsulas y tableros de conexión viga-columna.

**F.4.9.5.1 - Esfuerzo admisible de rotura por cortante** - Para situaciones en que puedan ocurrir fallas por cortante a lo largo de un plano que pase por los sujetadores, o por una combinación de cortante a lo largo de dicho plano y tensión a lo largo de un plano perpendicular, véase F.4.9.4.

**F.4.9.6 - PLATINAS DE RELLENO** - No se requiere extender y desarrollar los elementos de relleno con espesores entre 6.3 y 19 mm, siempre y cuando que el esfuerzo cortante admisible en los pernos se reduzca por el factor  $0.4(t - 0.25)$ , donde  $t$  es el espesor total de los elementos de relleno, hasta 19 mm.

**F.4.9.7 - ESFUERZOS ADMISIBLES DE APLASTAMIENTO** - Sobre el área de contacto de superficies cepilladas y extremos de rigidizadores de apoyo y sobre el área proyectada de pasadores en perforaciones rimadas o taladradas:

$$F_p = 0.90 F_y \quad (\text{F.4-51})$$

En los rodillos de expansión y en los balancines, kgf por unidad de longitud:

$$F_p = \left[ \frac{F_y - 9.14}{20} \right] 0.66d \quad (\text{F.4-52})$$

en donde:

$d$  = es el diámetro del rodillo o balancín, mm.

**F.4.9.8 - BASES DE COLUMNAS Y APLASTAMIENTO EN MAMPOSTERIA Y CONCRETO** - Se deben establecer estipulaciones adecuadas para transmitir las cargas y momentos de columnas a las bases y fundaciones.

- En ausencia de especificaciones se utilizarán los siguientes valores de esfuerzos:
- En piedra caliza y arenisca .....  $F_p = 0.28 \text{ kgf/mm}^2$
- En ladrillo con pega de mortero de cemento .....  $F_p = 0.18 \text{ kgf/mm}^2$
- En el área total de un apoyo de concreto .....  $F_p = 0.35f'_c$
- En el área parcial de un apoyo de concreto .....  $F_p = 0.35f'_c \sqrt{A_2/A_1} \leq 0.70f'_c$

en donde:

- $f'_c$  = resistencia especificada del concreto a la compresión, kgf/mm<sup>2</sup>
- $A_1$  = área de contacto sobre el apoyo de concreto, mm<sup>2</sup>
- $A_2$  = área total de apoyo del concreto, mm<sup>2</sup>

## F.4.10 CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO

**F.4.10.1 - BASES DE DISEÑO** - Almas y aletas bajo fuerzas concentradas

**F.4.10.1.1** - Los miembros con cargas concentradas aplicadas normalmente a una de las aletas y simétricas con respecto al alma deben tener una aleta y el alma diseñadas para satisfacer los criterios de flexión local de la aleta, resistencia a la fluencia, arrugamiento y pandeo lateral del alma de acuerdo con F.4.10.1.2, F.4.10.1.3, F.4.10.1.4 y F.4.10.1.5.

Los miembros con cargas concentradas aplicadas en las dos aletas deben tener el alma diseñada para satisfacer los criterios de fluencia, arrugamiento y pandeo del alma como columna, de acuerdo con F.4.10.1.3, F.4.10.1.4 y F.4.10.1.6.

No hay necesidad de verificar F.4.10.2 y F.4.10.3 cuando se colocan atiesadores dobles en los lados opuestos del alma bajo cargas concentradas, en una longitud igual a la mitad de la altura del miembro.

Para almas de columnas sometidas a fuerzas cortantes altas y atiesadores de apoyo, véanse F.4.10.1.7 y F.4.10.1.8 respectivamente.

**F.4.10.1.2 - Flexión local de las aletas** - Se debe colocar un par de atiesadores opuestos a la aleta a tensión o a las aletas de vigas que descansan en el miembro, siempre que el espesor de la aleta de éste,  $t_f$ , sea menor que:

$$0.40 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_{yc}}} \tag{F.4-53}$$

en donde:

- $F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia de la columna, kgf/mm<sup>2</sup>
- $P_{bf}$  = la fuerza calculada que transmite la aleta o platina de conexión de momento, multiplicada por 5/3 cuando se consideran únicamente cargas muertas y vivas, o por 4/3, cuando se incluyen además de las anteriores, fuerzas de viento y sísmicas, kgf.

Si la longitud de la zona cargada, medida a través de la aleta del miembro, es menor que  $0.15b$ , no es necesario verificar la fórmula F.4-53;  $b$  es el ancho de la aleta del miembro.

**F.4.10.1.3 - Fluencia local del alma** - Si el esfuerzo a compresión en el pie de la transición del alma, resultante de cargas concentradas, excede de  $0.66F_y$ , se deben colocar atiesadores de apoyo en las vigas principales y vigas de alma llena soldadas.

(a) Cuando la fuerza que ha de resistirse es una carga concentrada que produce tensión o compresión, aplicada a una distancia del extremo del miembro mayor que la altura de éste,

$$\frac{R}{t_w(N + 5k)} \leq 0.66F_y \quad (F.4-54)$$

(b) Cuando la fuerza que ha de resistirse es una carga concentrada aplicada en el extremo del miembro o cerca de éste,

$$\frac{R}{t_w(N + 2.5k)} \leq 0.66F_y \quad (F.4-55)$$

en donde:

R = carga concentrada o reacción, kgf

t<sub>w</sub> = espesor del alma, mm

N = longitud de apoyo (no inferior que k en reacciones extremas), mm

k = distancia desde la cara exterior de la aleta al pie de la transición del alma, mm

**F.4.10.1.4 - Arrugamiento del alma** - Cuando la fuerza a compresión excede los siguientes límites, deben colocarse atiesadores de apoyo en el alma de miembros bajo cargas concentradas:

(a) Cuando la carga concentrada está aplicada a una distancia no inferior a d/2 del extremo del miembro,

$$R = 57t_w^2 \left[ 1 + 3(N/d) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (F.4-56)$$

(b) Cuando la carga concentrada está aplicada a una distancia menor a d/2 del extremo del miembro,

$$R = 28.5t_w^2 \left[ 1 + 3(N/d) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (F.4-57)$$

en donde:

F<sub>yw</sub> = mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el alma de la viga, kgf/mm<sup>2</sup>

d = altura total del miembro, mm

t<sub>f</sub> = espesor de la aleta, mm

No se requiere verificar las fórmulas F.4-56 y F.4-57 cuando los atiesadores provistos se colocan en una longitud igual como mínimo a la mitad de la altura del alma.

**F.4.10.1.5 - Pandeo lateral del alma** - Cuando la fuerza a compresión excede los siguientes límites, deben colocarse atiesadores de apoyo en las almas de miembros con aletas que no están restringidas contra el movimiento relativo por atiesadores o riostras laterales y estén sometidas a cargas concentradas de compresión:

(a) Si la aleta cargada está restringida contra la rotación y la relación (d<sub>c</sub>/t<sub>w</sub>)/(l/b<sub>f</sub>) es menor que 2.3:

$$R = \frac{6800t_w}{h} \left[ 1 + 0.4 \left[ \frac{d_c/t_w}{l/b_f} \right]^3 \right] \quad (F.4-58)$$

(b) Si la aleta cargada no está restringida contra la rotación y la relación (d<sub>c</sub>/t<sub>w</sub>)/(l/b<sub>f</sub>) es menor que 1.7:

$$R = \frac{6800t_w}{h} \left[ 0.4 \left[ \frac{d_c/t_w}{l/b_f} \right]^3 \right] \quad (F.4-59)$$

en donde:

- $l$  = la mayor longitud sin arriostramiento lateral en el punto de aplicación de la carga a lo largo de cualquier aleta, mm
- $b_f$  = ancho de la aleta, mm
- $d_c$  =  $d-2k$  = Altura libre del alma entre las transiciones aleta-alma, mm

No hay necesidad de verificar las fórmulas F.4-58 y F.4-59 en almas sometidas a cargas uniformemente distribuidas o cuando la relación  $(d_c/t_w)/(l/b_f)$  excede los valores de 2.3 y 1.7, respectivamente.

**F.4.10.1.6 - Pandeo por compresión del alma** - Cuando la altura del alma, con exclusión de los filetes,  $d_c$  es mayor que

$$\frac{3440t_w^3 \sqrt{F_{yc}}}{P_{bf}} \quad (F.4-60)$$

se deben colocar uno o dos atiesadores opuestos a la aleta a compresión.

En donde:

- $t_{wc}$  = espesor del alma de la columna, mm

**F.4.10.1.7 - Miembros a compresión con tableros de alma sometidos a esfuerzos cortantes altos** - Los miembros sometidos a esfuerzos cortantes altos en el alma, deben investigarse de acuerdo con F.4.5.4.

**F.4.10.1.8 - Atiesadores para cargas concentradas** - Siempre que sean aplicables los requisitos de F.4.10.1.2 a F.4.10.1.6, se deben colocar pares de atiesadores en los extremos no aporcados o en los puntos de cargas concentradas en el interior de vigas principales, viguetas o columnas.

Los atiesadores no deben extenderse más de la mitad de la altura del alma si así se requiere en F.4.10.2, F.4.10.1.3 o la fórmula F.4-61, excepto como sigue:

Siempre que se requieran atiesadores con base en F.4.10.1.4 o F.4.10.1.6, éstos deben diseñarse como miembros axialmente comprimidos (columnas) de acuerdo con los requisitos de F.4.4.1 con una longitud efectiva igual a  $0,75h$ , una sección transversal compuesta por dos atiesadores y una franja del alma que tenga un ancho de  $25t_w$  para atiesadores intermedios y de  $12t_w$  para atiesadores en los extremos de miembros.

Cuando la carga normal a la aleta es una carga de tensión, los atiesadores se soldarán a la aleta cargada. Cuando la carga es de compresión, los atiesadores podrán soldarse o simplemente apoyarse en la aleta cargada.

Cuando en conexiones de extremo de viga, que deben transmitir momento, se suelden las aletas o platinas de conexión a la aleta de una columna constituida por un perfil I o H, se debe proporcionar al alma de la columna un par de rigidizadores que tenga área transversal total,  $A_{st}$ , no inferior a la calculada mediante la fórmula F.4-61, a menos que dicho cálculo resulte positivo.

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} t_{wc} (t_b + 5k)}{F_{yst}} \quad (F.4-61)$$

en donde:

- $F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia de la columna (kgf/mm<sup>2</sup>)

**NSR-98 – Capítulo F.4 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados; diseño para esfuerzos admisibles**

---

- $F_{yst}$  = esfuerzo de fluencia de los rigidizadores (kgf/mm<sup>2</sup>)  
 $k$  = distancia entre la cara exterior de la aleta y el pie del alma de la zona de transición, si se trata de un perfil de acería, o la distancia equivalente, si el perfil de la columna ha sido fabricado (mm)  
 $t_b$  = espesor de la aleta o de la platina de conexión de momento que transmite la fuerza concentrada, (mm)

Los atiesadores que se requieran según las estipulaciones de la fórmula F.4-61 y F.4.10.1.2 y F.4.10.1.6 deben cumplir con los siguientes criterios:

- (1) El ancho de cada atiesador más 1/2 del espesor del alma de la columna no debe ser inferior a 1/3 del ancho de la aleta o platina de conexión de momento que transmite la fuerza concentrada.
- (2) El espesor de los atiesadores no debe ser inferior a  $t_b/2$
- (3) La soldadura que conecta los atiesadores al alma de la columna debe calcularse para resistir la fuerza en el atiesador que causa el desbalance de los momentos que actúan en los lados opuestos de la columna.

**F.4.10.2 - EMPOZAMIENTO DE AGUA** - El esfuerzo de flexión total debido a las cargas muertas, cargas vivas gravitacionales (si las hay) y el empozamiento de agua no debe exceder de  $0.80F_y$  en los miembros principales ni en los secundarios. No es necesario incluir en un análisis de empozamiento los esfuerzos originados por el viento o por fuerzas sísmicas.

**F.4.10.3 - TORSION** - Los efectos de torsión deben considerarse en el diseño de miembros y los esfuerzos normales y de corte producidos por torsión deben añadirse a los esfuerzos causados por todas las demás cargas; los esfuerzos resultantes no deberán sobrepasar los valores admisibles.

**F.4.10.4 - FATIGA** - Los miembros y sus conexiones sujetos a cargas de fatiga, deberán diseñarse de conformidad con lo estipulado en F.4.13.1.

## **F.4.11 - REQUISITOS DE DISEÑO**

### **F.4.11.1 - PANDEO LOCAL**

**F.4.11.1.1 - Elementos esbeltos a compresión** - Los miembros cargados axialmente y los miembros a flexión que contengan elementos solicitados por compresión que tengan una relación ancho/espesor en exceso a los valores no compactos aplicables, tal como se estipula en F.4.2.1 se diseñarán de acuerdo con los siguientes requisitos.

**F.4.11.1.1.1 - Elementos no atiesados a compresión** - El esfuerzo admisible de elementos no atiesados a compresión cuya relación ancho/espesor exceda el valor no compacto aplicable, estipulado en F.4.2.1 estará sujeto a un coeficiente de reducción  $Q_s$ , el cual se determinará por las fórmulas aplicables F.4-62 a F.4-67 cuando tales elementos comprenden la aleta a compresión de un elemento a flexión, el máximo esfuerzo flector admisible no debe exceder  $0,60F_yQ_s$ , ni el valor aplicable provisto en F.4.4.1. El esfuerzo admisible de miembros a compresión cargados axialmente se modificará por el coeficiente de reducción apropiado  $Q$ , tal como se estipula en F.4.11.1.1.3.

Para ángulos sencillos:

Cuando  $64/\sqrt{F_y} < b/t < 130/\sqrt{F_y}$ :

$$Q_s = 1340 - 0.00533(b/t)\sqrt{F_y} \quad (\text{F.4-62})$$

Cuando  $b/t \geq 130/\sqrt{F_y}$ :

$$Q_s = \frac{10900}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.4-63})$$

Para ángulos o platinas en voladizo de columnas u otros elementos a compresión y para elementos en voladizo de aletas a compresión de vigas y viguetas:

Cuando  $80/\sqrt{F_y/k_c} < b/t < 164/\sqrt{F_y/k_c}$

$$Q_s = 1293 - 0.00369(b/t)\sqrt{F_y/k_c} \quad (\text{F.4-64})$$

Cuando  $b/t \geq 164/\sqrt{F_y/k_c}$

$$Q_s = \frac{18420k_c}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.4-65})$$

Para almas de tees:

Cuando  $106/\sqrt{F_y} < b/t < 148/\sqrt{F_y}$ :

$$Q_s = 1908 - 6.00852(b/t)\sqrt{F_y} \quad (\text{F.4-66})$$

Cuando  $b/t \geq 148/\sqrt{F_y}$ :

$$Q_s = \frac{14060}{F_y (b/t)^2} \quad (\text{F.4-67})$$

en donde:

b = ancho del elemento no atiesado a compresión como se define en F.4.2.1, mm

t = espesor del elemento no atiesado, mm

F<sub>y</sub> = punto de fluencia mínimo especificado, kgf/mm<sup>2</sup>

k<sub>c</sub> = 4.05/(h/t) si h/t > 70, de lo contrario k<sub>c</sub>=1.0

Los elementos no atiesados de tees cuyas dimensiones excedan los límites de F.4.2.1 deberán cumplir con las limitaciones dadas en la tabla F.4-7.

**F.4.11.1.1.2 - Elementos atiesados a compresión** - Cuando la relación ancho-espesor de elementos atiesados comprimidos uniformemente (excepto platabandas perforadas) exceda el límite no compacto, estipulado en F.4.2.1 se deberá emplear un ancho efectivo reducido, b<sub>e</sub>, al determinar las propiedades de diseño de la sección que contiene el elemento, excepto que la relación b/t no necesita tomarse tan pequeña como el valor aplicable permitido en F.4.2.1.

**Tabla F.4-7  
Proporciones límites para tees y canales**

Clase de Perfil	Relación entre el ancho de la aleta y la altura del perfil	Relación entre el espesor de la aleta y el espesor del alma
Canales ensamblados o laminados	≤0.25	≤3.0
	≤0.50	≤2.0
Tees ensambladas	≥0.50	≥1.25
Tees laminadas	≥0.50	≥1.10

Para aletas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme:

$$b_e = \frac{212t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{42.2}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b \quad (\text{F.4-68})$$

Para otros elementos comprimidos uniformemente:

$$b_e = \frac{212t}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{37.0}{(b/t)\sqrt{f}} \right] \leq b \quad (\text{F.4-69})$$

en donde:

- b** = ancho del elemento atesado a compresión tal como se define en F.4.2.1, mm
- b<sub>e</sub>** = ancho reducido, mm
- t** = espesor del elemento, mm
- f** = esfuerzo de compresión (esfuerzos axiales más esfuerzos flectores) en los elementos atesados, calculado con base en las propiedades de diseño que se especifican en F.4.2.1, kgf/mm<sup>2</sup>. Si la sección transversal incluye elementos no atesados, el **f** para el elemento atesado debe ser tal que el esfuerzo máximo de compresión en el elemento no atesado no exceda de **F<sub>a</sub>Q<sub>a</sub>** o **F<sub>c</sub>Q<sub>c</sub>**, según el caso.

Cuando los esfuerzos admisibles se incrementan por acción de cargas de viento o sismo de acuerdo con las estipulaciones de F.4.2.1, el ancho efectivo, **b<sub>e</sub>**, será determinado sobre la base de 0.75 veces el esfuerzo producido por cargas de viento o sismo solamente o en combinación con las cargas vivas y muertas de diseño

Para las secciones circulares cargadas axialmente

Los miembros con una relación diámetro-espesor **D/t** comprendida entre 2320/**F<sub>y</sub>** y 9140/**F<sub>y</sub>**, no deben exceder el valor más pequeño determinado por F.4.4.1 ni

$$F_a = \frac{465}{D/t} + 0.40 F_y \quad (\text{F.4-70})$$

en donde:

- D** = diámetro exterior, mm
- t** = espesor de la pared, mm

**F.4.11.1.1.3 - Propiedades de diseño** - Las propiedades de diseño se deben determinar empleando secciones transversales completas del elemento, con las siguientes excepciones

Al calcular el momento de inercia y el módulo de sección de elementos a flexión, se debe utilizar el ancho efectivo de los elementos atesados sometidos a compresión uniforme, tal como se define en F.4.11.1.1.2 a fin de determinar las propiedades transversales efectivas

Para los elementos atesados de la sección transversal

$$Q_a = \frac{\text{área efectiva}}{\text{área real}} \quad (\text{F.4-71})$$

Para los elementos no atesados de la sección transversal, se puede utilizar el **Q<sub>a</sub>**, definido en el numeral F.4.11.1.1.1.

Para los miembros a compresión cargados axialmente el área total transversal y el radio de giro,  $r$ , se calcularán con base en la sección transversal real. El esfuerzo admisible en miembros a compresión con carga axial que contienen elementos no atiesados o atiesados no debe exceder

$$F_a = \frac{Q \left[ 1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (F.4-72)$$

Cuando  $Kl/r$  es menor que  $C_c$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{QF_y}}$$

y

$$Q = Q_s Q_a$$

(a) Secciones transversales compuestas totalmente por elementos no atiesados:

$$Q = Q_s \quad (Q_a = 1.0)$$

(b) Secciones transversales compuestas totalmente por elementos atiesados:

$$Q = Q_a \quad (Q_s = 1.0)$$

(c) Secciones transversales compuestas por elementos atiesados y no atiesados:

$$Q = Q_s Q_a$$

Cuando  $Kl/r$  excede  $C_c$ :

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (F.4-73)$$

(e) Esfuerzo combinado axial y de flexión - Al aplicar las disposiciones de F.4.7 a miembros sometidos a esfuerzos combinados axiales y de tensión y que contengan elementos atiesados cuya relación ancho-espesor exceda el límite aplicable de secciones no compactas dado en F.4.2.1, los esfuerzos  $F_a$ ,  $f_{bx}$  y  $f_{by}$ , se deben calcular con base en las propiedades de la sección estipuladas en F.4.11.1.1.3. Para miembros que contengan elementos no atiesados cuya relación ancho-espesor exceda el límite de secciones no compactas, el esfuerzo flector admisible,  $F_b$ , será el valor más pequeño dado por  $0.60F_y Q_s$ , o el provisto en F.4.5.1.3. El término  $f_y/0.60F_y$  de las fórmulas F.4-32 y F.4-86 será reemplazado por  $f_y/0.60F_y Q_s$ .

## F.4.12 - VIGAS Y OTROS MIEMBROS A TENSION

**F.4.12.1 - MIEMBROS DE ALMA ACARTELADA** - El diseño de miembros acartelados que cumplen con los requisitos dados a continuación estará regido por las estipulaciones de F.4.5, salvo las modificaciones dadas en este numeral.

**F.4.12.1.1 - Requisitos generales** - La presente especificación se aplica a miembros acartelados siempre y cuando que cumplan con los requisitos de F.2.16.2.1.

**F.4.12.1.2 - Esfuerzo admisible de tensión** - El esfuerzo admisible para elementos acartelados a tensión se determinará de acuerdo con F.4.3.1.

**F.4.12.1.3 - Esfuerzo admisible de compresión** - El esfuerzo admisible en la sección total de elementos acartelados a compresión cargados axialmente, no debe exceder lo siguiente:

Cuando la relación de esbeltez efectiva  $S$  es menor que  $C_c$ :

$$F_{ay} = \frac{[1.0 - (S^2/2C_c^2)]F_y}{(5/3) + (3S/8C_c) - (S^3/8C_c^3)} \quad (F.4-74)$$

Cuando la relación de esbeltez efectiva  $S$  excede de  $C_c$ :

$$F_{ay} = \frac{12\pi^2 E}{23S^2} \quad (F.4-75)$$

en donde:

- $S$  =  $Kl/r_{oy}$  para la flexión con respecto al eje menor y  $K_x l/r_{ox}$  para la flexión con respecto al eje mayor
- $K$  = coeficiente de longitud efectiva para un miembro prismático
- $K_x$  = coeficiente de longitud efectiva para un miembro acartelado, determinado analíticamente
- $r_{ox}$  = radio de giro con respecto al eje mayor en el extremo más pequeño de un miembro acartelado, mm
- $r_{oy}$  = radio de giro con respecto al eje menor en el extremo más pequeño de un miembro acartelado, mm
- $l$  = longitud real sin arriostramientos del miembro, mm

**F.4.12.1.4 - Esfuerzos admisibles en flexión** - Los esfuerzos de tensión y compresión ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ) en las fibras extremas de miembros acartelados en flexión no deben exceder los valores de las ecuaciones F.2-108 a F.2-115.

**F.4.12.1.5 - Esfuerzo admisible por cortante** - El esfuerzo admisible por cortante en miembros acartelados se calculará de acuerdo con F.4.5.4.

**F.4.12.1.6 - Esfuerzos combinados de flexión y fuerza axial** - Los miembros acartelados y segmentos no arriostrados de éstos sometidos a esfuerzos combinados de flexión y compresión axial se diseñarán para satisfacer el requisito siguiente:

$$\left[ \frac{f_{ao}}{F_{ay}} \right] + \left[ \frac{C'_m}{1 - (f_{ao}/F'_{cy})} \right] \left[ \frac{f_{b1}}{F_{by}} \right] \leq 1.0 \quad (F.4-76)$$

y

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_b}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (F.4-77)$$

Cuando  $f_{ao}/F_a \leq 0.15$ , se permite la fórmula F.4-78 en lugar de las fórmulas F.4-76 y F.4-77:

$$\left[ \frac{f_{ao}}{F_{ay}} \right] + \left[ \frac{f_{b1}}{F_{by}} \right] \leq 1.0 \quad (F.4-78)$$

en donde

- $F_y$  = esfuerzo de compresión axial permitido cuando no hay momento flector,  $\text{kgf}/\text{mm}^2$
- $F_{by}$  = esfuerzo de flexión permitido cuando no hay fuerza axial,  $\text{kgf}/\text{mm}^2$
- $F'_{cy}$  = esfuerzo crítico de Euler dividido por un factor de seguridad,  $\text{kgf}/\text{mm}^2$

$$\frac{12\pi^2 E}{23(K_\gamma l_b / r_{bo})^2} \quad (F.4-79)$$

en donde:

- $l_b$  = longitud real no soportada en el plano de flexión
- $r_{bo}$  = radio de giro correspondiente en su extremo menor
- $f_{ao}$  = esfuerzo axial calculado en el extremo menor del miembro o segmento no arriostrado, según el caso, kgf/mm<sup>2</sup>
- $f_{bi}$  = esfuerzo de flexión calculado en el extremo mayor del miembro o segmento no arriostrado, según el caso, kgf/mm<sup>2</sup>
- $C'_m$  = coeficiente utilizado en el término de las ecuaciones de interacción aplicado a flexión

$$= 1.0 + 0.1 \left( \frac{f_{ao}}{F'_{cy}} \right) + 0.3 \left( \frac{f_{ao}}{F'_{cy}} \right)^2 \quad (F.4-80)$$

cuando el miembro está sometido a momentos extremos que producen flexión de curvatura simple y esfuerzos de flexión, calculados en los extremos, aproximadamente iguales.

$$C'_m = 1.0 + 0.9 \left( \frac{f_{ao}}{F'_{cy}} \right) + 0.6 \left( \frac{f_{ao}}{F'_{cy}} \right)^2 \quad (F.4-81)$$

cuando el esfuerzo de flexión calculado en el extremo menor de la longitud no arriostrada es igual a cero.

Cuando  $Kl/r \geq C_c$  y los esfuerzos combinados se verifican a intervalos a lo largo de la longitud,  $f_{ao}$  puede reemplazarse por  $f_a$  y  $f_{bi}$  por  $f_b$  en las fórmulas F 4-76 y F 4-78.

### F.4.13 - CONSIDERACIONES ESPECIALES DE DISEÑO

**F.4.13.1 - FATIGA** - Los miembros y las conexiones sujetas a esfuerzos de fatiga se deben diseñar de acuerdo con lo establecido en F.2.19 2, salvo lo siguiente.

**F.4.13.1.1 - Fatiga de tensión en pernos** - El esfuerzo de tensión en pernos Grado 5 o Grado 8 ASTM A325 y NTC 4028 (ASTM A490) sometidos a cargas de fatiga por tensión, producido por la combinación de la carga aplicada y las fuerzas de tensión resultantes de la acción de tenaza no debe exceder los siguientes valores. Las fuerzas de tensión resultantes por la acción de tenaza no deben exceder el 60% de la fuerza aplicada externamente

Número de Ciclos	Grado 5 ASTM A325 kgf/mm <sup>2</sup>	Grado 8 NTC 4028 (ASTM A490) kgf/mm <sup>2</sup>
Hasta 20 000	31	38
De 20 000 a 500 000	28	34
Más de 500 000	22	27

