

- (c) El concreto deberá tener una resistencia especificada a la compresión f'_c no menor de 20 MPa ni mayor de 55 MPa para concretos de peso normal, y no menor de 30 MPa para concretos con agregados ligeros
- (d) El mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el acero estructural y para las varillas de refuerzo utilizadas en el cálculo de la resistencia de una columna compuesta no debe exceder de 380 MPa.
- (e) El espesor mínimo de la pared de los tubos de acero estructural o de tubería rellena con concreto será igual a " $b\sqrt{F_y/3E}$ " para secciones rectangulares con caras de ancho b y a " $D\sqrt{F_y/8E}$ " para secciones circulares con diámetro exterior " D ".

F.2.9.2.2 - Resistencia de diseño - La resistencia de diseño de columnas compuestas con cargas axiales es " $\phi_c P_n$ ", donde $\phi_c=0.85$; la resistencia de compresión axial nominal, P_n , se determinará por medio de las fórmulas F 2-17 a F.2-20 con las siguientes modificaciones

(a)

- A_s = área bruta del perfil de acero, tubo circular o rectangular, mm² (reemplaza a A_s)
- r_m = radio de giro del perfil de acero, tubo circular o rectangular excepto que para los perfiles de acero no debe ser inferior a 0.3 veces el espesor total de la sección compuesta en el plano de pandeo, mm (reemplaza a r)

(b) En la fórmula F.2-51 se reemplaza " F_y " por un esfuerzo de fluencia modificado " F_{my} " y en la fórmula F.2-52 se reemplaza " E " con un módulo de elasticidad modificado E_m :

$$F_{my} = F_y + c_1 F_{yr} (A_r/A_s) + c_2 f'_c (A_c/A_s) \quad (\text{F.2-51})$$

$$E_m = E + c_3 E_c (A_c/A_s) \quad (\text{F.2-52})$$

en donde:

- A_c = área del concreto, mm²
- A_r = área de las varillas de refuerzo longitudinal, mm²
- A_s = área del acero, mm²
- E = módulo de elasticidad del acero, MPa
- E_c = módulo de elasticidad del concreto, MPa
- F_y = mínimo esfuerzo de fluencia especificado para los perfiles de acero, tubo circular o rectangular, MPa
- F_{yr} = mínimo esfuerzo de fluencia especificado para las varillas de refuerzo longitudinal, MPa
- f'_c = resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa
- c_1, c_2, c_3 = coeficientes numéricos. Para tubos circulares o rectangulares rellenos de concreto: $c_1=1.0$, $c_2=0.85$ y $c_3=0.4$; para perfiles revestidos de concreto $c_1=0.7$, $c_2=0.6$ y $c_3=0.2$

E_c puede calcularse con $E_c = 0.043(w_c)^{1.5} \sqrt{f'_c}$ en donde w_c es el peso unitario del concreto expresado en kg/m³ y f'_c se expresa en MPa (véase el numeral C 8 4).

F.2.9.2.3 - Columnas con múltiples perfiles de acero - Si la sección transversal compuesta incluye dos o más perfiles de acero, estos deben interconectarse por medio de una celosía, platinas de amarre o platinas atiesadoras para evitar que ocurra pandeo en los perfiles individuales antes del endurecimiento del concreto

F.2.9.2.4 - Transferencia de carga - La parte de resistencia de diseño en columnas compuestas con carga axial que es resistida por el concreto se desarrollará por contacto directo en las conexiones. Cuando el área soportante de concreto es mayor que el área cargada en uno o más lados y además en los bordes que no sobresalen esta restringida contra la expansión lateral, la máxima resistencia de diseño del concreto será

" $1.7 \phi_c f'_c A_B$ ", donde $\phi_c=0.60$ es el coeficiente de resistencia al aplastamiento del concreto y A_B es el área cargada.

F.2.9.3 - MIEMBROS A FLEXION

F.2.9.3.1 - Ancho efectivo - La parte del ancho efectivo de la placa de concreto a cada lado del eje central de la viga no debe exceder

- (a) Un octavo de la luz de la viga, centro a centro de los apoyos
- (b) Un medio de la distancia al eje central de la viga adyacente
- (c) La distancia desde el eje central de la viga al borde de la placa

F.2.9.3.2 - Resistencia de vigas con conectores de cortante - La resistencia de diseño a la flexión " $\phi_b M_n$ " se determinará de la siguiente manera:

Para momentos positivos

(a) Para $h_c/t_w \leq 1680/\sqrt{F_{yf}}$:

$\phi_b = 0.85$, el momento " M_n " se determinará a partir de la distribución de esfuerzos plásticos en la sección compuesta.

(b) Para $h_c/t_w > 1680/\sqrt{F_{yf}}$

$\phi_b = 0.90$; el momento " M_n " se determinará a partir de la superposición de esfuerzos elásticos, considerando los efectos del apuntalamiento

Para momentos negativos:

La resistencia de diseño a la flexión " $\phi_b M_n$ ", se determinará para la sección de acero exclusivamente, de acuerdo con los requisitos de F 2.6, alternativamente, " $\phi_b M_n$ " puede calcularse, tomando $\phi_b=0.85$ y determinando " M_n " a partir de la distribución de esfuerzos plásticos de la sección compuesta, siempre que:

- (a) La viga de acero, sea una sección compacta adecuadamente arriostrada, tal como se define en F 2.2.5
- (b) Los conectores de cortante conecten la placa a la viga en la región de momento negativo
- (c) El refuerzo de la placa paralelo a la viga se desarrolle correctamente dentro del ancho efectivo de la placa.

F.2.9.3.3 - Resistencia de vigas revestidas en concreto - La resistencia de diseño a la flexión " $\phi_b M_n$ " se calculará tomando $\phi_b=0.90$ y determinando el momento " M_n " a partir de la superposición de esfuerzos elásticos, considerando los efectos del apuntalamiento.

Alternativamente, la resistencia de diseño a la flexión " $\phi_b M_n$ " puede calcularse, tomando $\phi_b=0.90$ y determinando " M_n " a partir de la distribución de esfuerzos plásticos en la viga metálica solamente.

F.2.9.3.4 - Resistencia durante la construcción - Cuando no se utilizan puntales temporales durante la construcción, la sección de acero considerada aisladamente deberá tener la resistencia adecuada para resistir todas las cargas aplicadas antes de que el concreto obtenga el 75% de resistencia especificada " f'_c ". La resistencia de diseño a flexión de la sección de acero se calculará de acuerdo con los requisitos de F.2.6.1.

F.2.9.3.5 - Placas sobre lámina de acero plegada - La resistencia de diseño a la flexión " $\phi_b M_n$ ", de una construcción compuesta de placas de concreto sobre una lámina de acero plegada conectada a vigas metálicas se calculará de acuerdo con las partes aplicables de F.2.9.3.2, con las siguientes modificaciones.

Este numeral se aplica a láminas plegadas con nervaduras de altura nominal no mayor de 75 mm. El ancho promedio de la nervadura de concreto, " w_r ", no deberá ser menor de 50 mm, pero en los cálculos no deberá ser mayor del ancho mínimo libre en la parte superior de los pliegues de la lámina de acero. Consúltense los requisitos adicionales dados en el literal (b).

La losa de concreto se conectará a la viga de acero por medio de conectores de cortante de espigo soldados de 19 mm de diámetro o menos (AWS D1.1). Los espigos pueden soldarse a través de la lámina o directamente a la viga metálica. Los espigos, una vez instalados, tendrán que sobresalir por lo menos 38 mm por encima de la parte superior de la lámina metálica.

El espesor de la placa o losa por encima de la lámina no será menor de 50 mm.

(a) Nervaduras de la lámina perpendiculares a las vigas metálicas - El concreto por debajo de la parte superior de las nervaduras no se tendrá en cuenta para determinar las propiedades de la sección y en el cálculo de " A_c " cuando las nervaduras están orientadas perpendicularmente a las vigas metálicas.

El espaciamiento longitudinal de los conectores de cortante de espigo no será mayor de 900 mm.

La fuerza cortante nominal de los conectores de cortante de espigo tendrá el valor estipulado en F.2.9.5 multiplicado por el siguiente coeficiente de reducción:

$$\frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1.0 \right] \leq 1.0 \quad (\text{F.2-53})$$

en donde:

h_r = altura nominal de la nervadura, mm

H_s = longitud del conector de espigo por encima de la soldadura, mm. En los cálculos no debe exceder el valor (h_r+75), aunque la longitud real sea mayor.

N_r = número de conectores de espigo en una nervadura en la intersección de la viga que no debe exceder de 3 en los cálculos, aunque se hayan instalado más.

w_r = ancho promedio de la nervadura de concreto (como se define en F.2.9.3.5), mm

A fin de evitar el levantamiento, la lámina plegada deberá anclarse a todos los miembros de soporte a espaciamientos no mayores de 450 mm. Los anclajes pueden proporcionarse por medio de conectores de espigo, o por una combinación de conectores y soldaduras de tapón o por cualquier otro sistema especificado por el diseñador.

(b) Nervaduras de la lámina paralelas a las vigas de acero - El concreto por debajo de la parte superior de la nervadura puede incluirse al determinar las propiedades de la sección y debe incluirse en los cálculos de " A_c " para F.2.9.5.

Las nervaduras de la lámina de acero sobre las vigas de soporte podrán cortarse longitudinalmente y separarse para formar un capitel de concreto.

Cuando la altura nominal de la lámina plegada sea de 38 mm o mayor, el ancho promedio " w_r " del capitel o de la nervadura soportados, no deberá ser menor de 50 mm si hay un solo espigo en la hilera transversal, debiendo suponerse 4 diámetros del mismo por cada espigo adicional.

La fuerza cortante nominal de un conector de cortante de espigo tendrá los valores estipulados en F.2.9.5, excepto que cuando " w_r/h_r " es menor de 1.5, el valor obtenido en el numeral mencionado se multiplicará por el siguiente coeficiente de reducción:

$$0.6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1.0 \right] \leq 1.0 \quad (\text{F.2-54})$$

donde "h," y "H," se han definido en el literal (a) y "w," es el ancho promedio de la nervadura del concreto como se define en F.2.9.3.5.

F.2.9.3.6 - Resistencia de diseño al corte - La resistencia de diseño a corte de vigas compuestas estará determinada por la fuerza cortante del alma de acero, de acuerdo con los requisitos de F.2.6.2.

F.2.9.4 - COMBINACION DE FLEXION Y COMPRESION - La interacción de la fuerza de compresión axial y de flexión en el plano de simetría de secciones compuestas estará limitada por F.2.8.1.2 con las siguientes modificaciones:

- M_n = resistencia de diseño a la flexión determinada de la distribución de esfuerzos plásticos sobre el área transversal compuesta, excepto como se estipula más adelante, kg-mm
- P_{e1}, P_{e2} = $A_s F_{my} / \lambda_c^2$, carga de pandeo elástico, N
- F_{my} = esfuerzo de fluencia modificado, MPa. Véase F.2.9.2
- ϕ_b = coeficiente de resistencia a flexión (F.2.9.3)
- ϕ_c = 0.85 = coeficiente de resistencia a compresión
- λ_c = parámetro de esbeltez de la columna definido por la fórmula F.2-20 y modificado en F.2.9.2.2

Cuando el término que hace referencia a la sollicitación axial en las fórmulas F.2-46 y F.2-47 es inferior a 0.3, el momento resistente nominal " M_n " se determinará por la transición lineal entre la resistencia nominal a la flexión determinada de la distribución plástica sobre las áreas transversales compuestas cuando $(P_u / \phi_c P_n) = 0.3$ y el momento resistente cuando $P_u = 0$ como se determina en F.2.9.3. Si se requieren conectores de cortante donde $P_u = 0$, deben proporcionarse siempre y cuando que $P_u / \phi_c P_n$ sea inferior a 0.3

F.2.9.5 - CONECTORES DE CORTANTE - Este numeral se aplica al diseño de conectores de cortante de espigo y de canal. Para otros tipos de conectores, véase F.2.9.6.

F.2.9.5.1 - Materiales - Los conectores de cortante deberán ser espigos con cabeza, con una longitud después de instalados, no inferior a cuatro diámetros del mismo o canales de acero laminados en caliente. Los conectores de espigo deberán cumplir con los requisitos de F.2.1.3.7. Los conectores de canal deberán cumplir con los requisitos de F.2.1.3. Los conectores de cortante deberán embeberse en las placas de concreto hechas con agregados ajustados a la norma NTC 174 (ASTM C33) o con agregados producidos en hornos giratorios de acuerdo con la norma NTC 4045 (ASTM C330) y concreto de peso específico no inferior a 1440 kg/m³.

F.2.9.5.2 - Fuerza cortante horizontal - Con excepción de las vigas embebidas en concreto definidas en F.2.9.1, la fuerza de corte horizontal total en la superficie de contacto entre la viga de acero y la placa de concreto se supondrá transmitida por los conectores de cortante. Para la acción compuesta con el concreto sujeto a compresión, la fuerza cortante horizontal entre el punto de máximo momento positivo y el punto de momento cero se tomará el valor más pequeño entre:

- (a) $0.85 f'_c A_c$
- (b) $A_s F_y$
- (c) $\sum Q_n$

en donde

- f'_c = resistencia a la compresión especificada del concreto, MPa
- A_c = área de la placa de concreto dentro del ancho efectivo, mm²
- A_s = área de la sección transversal de acero, mm²
- F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificado MPa
- $\sum Q_n$ = suma de las resistencias nominales de los conectores de cortante entre el punto de máximo momento positivo y el punto de momento cero, N

Para vigas híbridas, la fuerza de fluencia se calculará separadamente para cada componente de la sección transversal; el $A_s F_y$ de la sección transversal total será la suma de las fuerzas de fluencia de sus componentes.

En vigas compuestas continuas en las cuales el acero de refuerzo longitudinal en las regiones de momento negativo se considera actuando en forma combinada con la viga metálica, la fuerza cortante horizontal entre el punto de máximo momento negativo y el punto de momento cero se tomará como el menor valor entre $A_r F_{yr}$ y ΣQ_n , donde:

- A_r = área del acero de refuerzo longitudinal adecuadamente desarrollada dentro del ancho efectivo de la losa de concreto, mm²
- F_{yr} = esfuerzo mínimo especificado a la fluencia del acero de refuerzo, MPa
- ΣQ_n = suma de las resistencias nominales de los conectores de cortante entre el punto de máximo momento negativo y el punto de momento cero, N

F.2.9.5.3 - Resistencia de los conectores de cortante de espigo - La resistencia nominal de un conector de cortante de espigo embebido en la placa de concreto es:

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} F_u \quad (\text{F.2-55})$$

en donde:

- A_{sc} = área transversal de un conector de espigo, mm²
- f'_c = resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa
- F_u = resistencia mínima especificada a tensión de un conector de espigo, MPa
- E_c = módulo de elasticidad del concreto, MPa

Para conectores de espigo embebidos en una placa sobre una lámina de acero plegada, véase F.2.9.3 en relación con los coeficientes de reducción dados por las fórmulas F.2-53 y F 2-54 según se aplique. Los coeficientes de reducción solamente se aplicarán al término $0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c}$ de la fórmula F.2-55.

F.2.9.5.4 - Resistencia de conectores de cortante de canal - La resistencia nominal de un conector de cortante de canal empotrado en una placa de concreto es:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c \sqrt{f'_c E_c} \quad (\text{F.2-56})$$

en donde:

- t_f = espesor de la aleta del conector de cortante de canal, mm
- t_w = espesor del alma del conector de cortante de canal, mm
- L_c = longitud del conector de cortante de canal, mm

F.2.9.5.5 - Número requerido de conectores de cortante - El número de conectores de cortante requeridos entre la sección de máximo momento de flexión, negativo o positivo y la sección adyacente de momento cero será igual a la fuerza de corte horizontal definida en F 2 9.5.2 dividida por la resistencia nominal de un conector de cortante tal como se define en F 2 9 5.3 o F.2.9.5.4

F.2.9.5.6 - Colocación y espaciamiento de conectores de cortante - Los conectores de cortante requeridos en cada lado del punto de máximo momento flector, positivo o negativo, se distribuirán uniformemente entre aquel punto y los puntos adyacentes de momento cero. Sin embargo, el número de conectores colocados entre cualquier carga concentrada y el punto más cercano de momento cero deberá ser suficiente para desarrollar el máximo momento requerido en el punto de la carga concentrada.

Excepto para conectores instalados en las nervaduras de las láminas de acero plegadas, los conectores de corte tendrán como mínimo 25 mm de recubrimiento lateral de concreto. El diámetro de los espigos no será mayor de 2.5 veces el espesor de la aleta a la cual se sueldan, a menos que estén colocados sobre el alma.

El mínimo espaciamiento centro a centro de los conectores de espigo será igual a 6 diámetros a lo largo del eje longitudinal de la viga compuesta y a 4 diámetros en dirección transversal al eje longitudinal de la viga, excepto que el espaciamiento centro a centro dentro de las nervaduras de la lámina de acero plegada puede

reducirse a 4 diámetros en cualquier dirección. El espaciamiento máximo centro a centro de los conectores de cortante no deberá exceder de 8 veces el espesor total de la placa. Véase también F 2 9 3 5 literal (a).

F.2.9.6 - CASOS ESPECIALES - Cuando la construcción compuesta no se ajusta a los requisitos de F.2.9.1 a F.2.9.5, la resistencia de los conectores de cortante y los detalles de construcción se establecerán por un programa de ensayos adecuado.

F.2.10 - CONEXIONES, JUNTAS Y PASADORES

Este numeral se aplica a elementos conectados, conectores y los elementos afectados de miembros conectados sometidos a cargas estáticas. Para conexiones sometidas a fatiga, véase F.2.20.2.

F.2.10.1 - REQUISITOS GENERALES

F.2.10.1.1 - Bases de diseño - Las conexiones consisten de elementos afectados de miembros conectados (por ejemplo, almas de vigas, elementos de unión (cartelas, ángulos, ménsulas) y conectores (soldaduras, pernos, remaches)). Estos componentes se diseñarán en forma tal que su resistencia iguale o exceda la resistencia requerida determinada por el análisis estructural para las cargas mayoradas que actúan sobre la estructura o una proporción específica de la resistencia de los miembros conectados, lo que sea apropiado

F.2.10.1.2 - Conexiones simples - Excepto lo establecido de otra manera en las especificaciones, las conexiones de vigas, viguetas y cerchas se diseñarán como flexibles y comúnmente podrán diseñarse sólo para las reacciones de cortante. Las conexiones flexibles de vigas deben permitir las rotaciones de los extremos de vigas simplemente apoyadas. Con este fin se permiten algunas deformaciones inelásticas limitadas en las conexiones.

F.2.10.1.3 - Conexiones a momento - Las conexiones en los extremos de vigas restringidas, vigas, viguetas y cerchas empotradas se diseñarán para los efectos combinados de los momentos y las fuerzas cortantes resultantes de la rigidez de las conexiones

F.2.10.1.4 - Elementos a compresión con uniones por aplastamiento - Siempre que las columnas descansen sobre platinas de apoyo o tengan un terminado que permita transmitir las cargas por aplastamiento en los empalmes deberá haber suficientes pernos, remaches o soldaduras para mantener todas las partes fuertemente aseguradas en su lugar.

Quando haya otros miembros a compresión con terminados que transmitan cargas por aplastamiento, el material de empalme y sus conectores deberán disponerse en tal forma que mantengan alineadas todas las partes y se diseñarán para el 50% de la resistencia de diseño requerida para el miembro.

Todas las uniones a compresión se diseñarán para resistir cualquier fuerza de tensión desarrollada por las cargas mayoradas especificadas en la ecuación B 2 5-6

F.2.10.1.5 - Empalmes en secciones pesadas - Este numeral se aplica a perfiles laminados tipo ASTM A6 grupos 4 y 5 y a perfiles ensamblados mediante placas soldadas que tengan más de 50 mm de espesor en conjunto al formar su sección transversal, que deban empalmarse cuando están sometidos a esfuerzos primordialmente de tensión por tensión directa o flexión. Cuando los elementos individuales que conforman la sección transversal del miembro se empalman de acuerdo a la norma AWS D.1.1, Artículo 3.4.6, son aplicables los requisitos de la norma AWS D.1.1 en lugar de los requisitos de este numeral. Cuando las fuerzas de tensión en estas secciones deban ser transmitidas a través de empalmes mediante soldaduras de ranura de penetración completa, la tenacidad de ranura del material debe cumplir con los requisitos dados en F.2.1.3 2

Los detalles de los agujeros de acceso para soldadura se dan en F.2 10 1.6. Los requisitos de aplicación de soldadura con calentamiento previo se dan en F.2.10 2 8 y los requisitos para la preparación de superficies cortadas térmicamente y su inspección se dan en F.2.13 2 2.

En los empalmes a tensión de perfiles tipo ASTM A6, grupos 4 y 5, y miembros ensamblados con placas o material de más de 50 mm de espesor, se deberán eliminar las salientes y entrantes de las soldaduras y la superficie deberá quedar lisa.

En los empalmes de perfiles tipo ASTM A6, grupos 4 y 5, y miembros ensamblados con placas o material de más de 50 mm de espesor en su sección transversal que se emplearán como miembros principales a compresión, todas las juntas deberán tener agujeros de acceso para facilitar el proceso de aplicación de soldadura acanalada, que deberán satisfacer los requisitos de F.2.10.1.6

Alternativamente, los empalmes para tales miembros sometidos a compresión, incluidos miembros sometidos a tensión por cargas de viento o sismo, deberán diseñarse usando detalles de empalme que no induzcan grandes deformaciones por retracción de la soldadura. Por ejemplo, soldaduras de ranura de penetración parcial en las aletas y platinas de empalme con soldadura de filete en el alma, empalmes con platinas atornilladas o combinación de empalmes con platinas atornilladas y con soldadura de filete.

F.2.10.1.6 - Destijere de vigas y agujeros de acceso para soldadura - Todos los agujeros de acceso requeridos para facilitar las operaciones de soldadura deben tener una longitud mayor de $1\frac{1}{2}$ veces el espesor del material en la cual se hace el agujero, medida desde el talón de la soldadura. La altura del agujero de acceso deberá ser la adecuada para la depositación del material de aporte en las placas adyacentes y debe suministrar espacio suficiente para lenguetas de soldadura para la soldadura en el material en que se hace el agujero pero no deberá ser inferior al espesor del material. En perfiles laminados en caliente y ensamblados, todos los destijeres de viga y agujeros de acceso para soldadura deberán tener formas libres de entalladuras y esquinas entrantes afiladas, excepto en el caso de soldaduras de filete que unen aletas y alma en las secciones ensambladas, en las cuales se permite que los agujeros de acceso de la soldadura terminen perpendiculares a la aleta.

Para los perfiles laminados tipo ASTM A6, grupos 4 y 5, y perfiles ensamblados con material de más de 50 mm de espesor, el corte térmico de los destijeres de vigas y los agujeros de acceso para soldadura deberá pulirse hasta obtener metal brillante. La inspección se hará por el método de las partículas magnéticas o por el método del tinte penetrante, realizados con anterioridad a la depositación de las soldaduras de empalme.

Si la porción de la curva de transición de los agujeros de acceso y los destijeres fueron hechas mediante agujeros pretaladrados o aserrados, esta porción del agujero o destijere no necesita ser pulida. Los agujeros de acceso y los destijeres de vigas de otras formas no necesitan pulirse ni tampoco requieren inspección con los métodos de la tinta penetrante y de las partículas magnéticas.

F.2.10.1.7 - Resistencia mínima de las conexiones - Las conexiones que hayan de transmitir esfuerzos se diseñarán para soportar una carga mayorada no inferior a 45 kN, excepto para elementos de enlace, templetes y riostras.

F.2.10.1.8 - Colocación de soldaduras y pernos - Los grupos de soldaduras o pernos en los extremos de cualquier miembro que trasmitan fuerzas axiales a tal miembro se colocarán en tal forma que el centro de gravedad del grupo coincida con el centro de gravedad del miembro a menos que se tengan en cuenta los esfuerzos producidos por la excentricidad. Lo anterior no es aplicable a las conexiones de los extremos de miembros de ángulo sencillo, ángulos dobles o miembros similiares estáticamente cargados

F.2.10.1.9 - Pernos en combinación con soldaduras - En nuevos trabajos se considera que los pernos comunes A307 o los pernos de alta resistencia, utilizados en conexiones tipo aplastamiento, no comparten la carga con las soldaduras. Siempre que se utilicen soldaduras en este tipo de junta, deberán diseñarse para soportar toda la carga en la conexión. En cambio los pernos de alta resistencia, utilizados en conexiones de deslizamiento crítico pueden compartir la carga con las soldaduras.

Cuando se hagan modificaciones de soldaduras en estructuras, los remaches y los pernos de alta resistencia existentes apretados según los requisitos para conexiones de deslizamiento crítico pueden utilizarse para resistir las cargas muertas originales y la soldadura necesitará solamente suministrar la resistencia adicional de diseño requerida.

F.2.10.1.10 - Pernos de alta resistencia en combinación con remaches - En conexiones de deslizamiento crítico diseñadas de acuerdo con las estipulaciones de F.2.10.3, se considera que los remaches y los pernos de alta resistencia pueden compartir las cargas, tanto en trabajos nuevos como en modificaciones.

F.2.10.1.11 - Limitaciones en conexiones soldadas y empernadas - Deben utilizarse soldaduras o pernos de alta resistencia totalmente tensionados (véase la tabla F.2-7), en las siguientes conexiones:

- Empalmes de columnas en todas las estructuras de varios pisos de 60 metros o más de altura.
- Empalmes de columnas en estructuras de varios pisos de 30 a 60 metros de altura, si la dimensión mínima horizontal es inferior al 40% de la altura.
- Empalmes de columnas en estructuras de varios pisos de menos de 30 metros de altura, si la dimensión mínima horizontal es inferior al 25% de la altura.
- Todas las conexiones de vigas a columnas y de vigas entre sí, cuando de ellas depende el arriostamiento de las columnas, en estructuras de más de 40 metros de altura.
- En todas las estructuras que soportan grúas de más de cinco toneladas de capacidad en los siguientes sitios: empalmes de cerchas de cubierta y conexiones de cerchas a columnas, empalmes de columnas, arriostamientos de columnas, pies de amigos y apoyos de la grúa.
- Conexiones para soportar maquinaria en movimiento u otras cargas vivas que produzcan impacto o inversión de esfuerzos.
- Cualquier otra conexión estipulada en los planos de diseño.

En todos los otros casos las conexiones pueden hacerse con pernos A307 o pernos de alta resistencia normalmente apretados sin holgura.

Para los fines de este numeral se tomará como altura de una estructura de varios pisos la distancia vertical entre el nivel del andén y el punto más alto de las vigas de cubierta en el caso de techos planos, o a la altura media de la cubierta cuando se trate de techos con una pendiente superior a 22% (12.5°). Cuando no se haya establecido el nivel del andén, o cuando la estructura no esté contigua a una calle, se utilizará el nivel promedio del terreno inmediato en lugar del nivel del andén. Los altillos se pueden excluir en el cálculo de la altura de la estructura.

F.2.10.2 - SOLDADURAS - Se aplican todas las estipulaciones del Código de Soldadura Estructural de la Sociedad Americana de Soldadura, AWS, excepto el Capítulo 10 - Estructuras tubulares, que está fuera del alcance de estas normas. Los siguientes requisitos se aplican en estas especificaciones en lugar de los requisitos del código AWS:

F.2.10.1.5 y F.2.10.1.6 en lugar de la sección 3.2.5 del AWS.

F.2.10.2.2 en lugar de la sección 2.3.2.4 del AWS.

Tabla F.2-6 en lugar de la Tabla 8.1 del AWS.

Tabla F.2-19 en lugar de la sección 2.5 del AWS.

F.2.11.3 y F.2.20.2 en lugar del capítulo 9 del AWS.

F.2.13.2.2 en lugar de la sección 3.2.2 del AWS.

F.2.10.2.1 - Soldaduras acanaladas

(a) Área efectiva - El área efectiva de soldaduras acanaladas deberá ser la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por el espesor de la garganta efectiva. La longitud efectiva de una soldadura acanalada será el ancho de la parte unida.

El espesor efectivo de la garganta de una soldadura acanalada de penetración completa será el espesor de la parte unida más delgada.

El espesor efectivo de la garganta de una soldadura acanalada de penetración parcial será el indicado en la tabla F.2-2.

El espesor efectivo de una garganta convexa de la soldadura acanalada presente en la unión de las dos barras circulares o con dobleces a 90° en secciones dobladas, cuando se rellena a ras serán las indicadas en la tabla F.2-3. Para verificar que la garganta efectiva ha sido obtenida consistentemente, se escogerán

NSR-98 – Capítulo F.2 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados: diseño para estados límites

soldaduras al azar para cada procedimiento de soldadura, o las secciones a ensayar si así lo requieren las especificaciones técnicas del proyecto.

Se permiten gargantas efectivas mayores que aquellas especificadas en la tabla F.2-3, siempre que el fabricante pueda demostrar, por medio de calificación, que puede garantizar consistentemente espesores de gargantas efectivas mayores.

La calificación consistirá en seccionar la soldadura normal a su eje, en la mitad y en los extremos de su longitud. Tal seccionamiento debe efectuarse en un número de combinaciones de tamaños de material representativo del rango usado en la fabricación o según lo requieran las especificaciones del proyecto.

(b) Limitaciones - El mínimo espesor efectivo de la garganta de una soldadura acanalada de penetración parcial deberá ser el indicado en la tabla F.2-4. El tamaño de la soldadura se determina por la parte más gruesa de las dos partes unidas, excepto que este tamaño no necesita exceder el espesor de la parte más delgada cuando se requiere, por cálculo de esfuerzos, un tamaño mayor. Para este caso se debe tener cuidado particular de proveer suficiente precalentamiento para la buena calidad de la soldadura.

**Tabla F.2-2
Espesor efectivo de la garganta de soldaduras acanaladas de penetración parcial**

Proceso de soldadura	Posición de soldadura	Incluido el ángulo de la raíz de la garganta	Espesor efectivo de la garganta
Arco metálico con electrodo protegido o arco sumergido	Todas	Juntas en U o J	Profundidad del bisel
Arco metálico con gas		Junta en media V o en $V \geq 60^\circ$	
Arco con fundente en el núcleo		Junta en media V o en $V < 60^\circ$ pero $\geq 45^\circ$	Profundidad del bisel menos 3 mm

**Tabla F.2-3
Espesor efectivo en gargantas convexas de soldaduras acanaladas**

Tipo de soldadura	Radio de la barra (R) o dobléz	Espesor efectivo de garganta
Garganta convexa en media V	Todos	$5/16 R$
Garganta convexa en V	Todos	$1/2 R$

*Utilícese $3/8R$ para soldadura por arco con gas (excepto en el proceso de transferencia por corto circuito) cuando $R \geq 25$ mm.

F.2.10.2.2 - Soldaduras de filete

(a) Área efectiva - El área efectiva de las soldaduras de filete será el definido por la sección D.1.1 Artículo 2.3.2, excepto el artículo 2.3.2.4, del Código de Soldadura Estructural de la Sociedad Americana de Soldadura.

El espesor de la garganta efectiva de una soldadura de filete será la distancia más corta entre la raíz y la cara exterior del filete, excepto que en soldaduras de filete por el proceso de arco sumergido, el espesor de la garganta efectiva será igual al tamaño del cateto, para soldaduras de 10 mm o menores, e igual a la garganta teórica más 3 mm para soldaduras mayores de 10 mm

Para soldaduras de filete en agujeros y ranuras, la longitud efectiva será la longitud del eje de la soldadura a lo largo del plano a través de la garganta. En el caso de filetes superpuestos, el área efectiva no deberá exceder el área transversal nominal del hueco o ranura, en el plano de la superficie de contacto.

(b) Limitaciones - El tamaño mínimo de soldaduras de filete no deberá ser menor que el tamaño requerido para transmitir las fuerzas calculadas ni debe ser inferior a los dados en la tabla F.2-5, la cual está basada en experiencias anteriores y proporciona márgenes para esfuerzos no tomados en cuenta durante la fabricación, manejo, transporte y montaje. Estos requisitos no se aplican a refuerzos con soldaduras de filete en juntas con soldaduras de penetración parcial o completa.

El tamaño máximo de las soldaduras de filete que conectan las partes deberá ser:

- A lo largo de los bordes de material con espesor menor de 6 mm, no mayor que el espesor del material.
- A lo largo de los bordes de material con espesor de 6 mm o más, no mayor que el espesor del material menos 2.0 mm; excepto cuando se indique específicamente en los planos que la soldadura debe engrosarse para obtener el espesor completo de la garganta. Para este caso, la distancia entre el borde del metal base y el talón de la soldadura se permite que sea menor de 2.0 mm ya que el tamaño de la soldadura es fácilmente verificable.
- Para conexiones de aletas con alma y conexiones similares, el tamaño real de la soldadura no necesita ser mayor que el requerido para desarrollar la capacidad del alma, y por lo tanto los requisitos dados en la tabla F.2-5 no son aplicables.
- La mínima longitud efectiva de las soldaduras de filete diseñadas con base en su resistencia no deberá ser inferior a cuatro veces su tamaño nominal, o de otro modo, se considera que el tamaño de la soldadura no sobrepasa 1/4 de su longitud efectiva. Si solamente se usan soldaduras de filete longitudinal en las conexiones extremas de barras planas de miembros a tensión, la longitud de cada filete no será inferior a la distancia perpendicular entre ellos. El espaciamiento transversal de soldaduras de filete longitudinales usadas en las conexiones extremas de miembros a tensión deberá hacerse de acuerdo con F.2.2.3.
- La longitud máxima efectiva de las soldaduras de filete sometidas a fuerzas paralelas a la soldadura, tales como empalmes traslapados, no deberá exceder de 70 veces el lado de la soldadura de filete. Se puede suponer una distribución uniforme de esfuerzos a lo largo de la longitud máxima efectiva de la soldadura.
- Se pueden utilizar soldaduras de filete intermitentes para transferir los esfuerzos calculados a través de una junta o de las superficies de contacto cuando la resistencia requerida es menor que la desarrollada por una soldadura de filete continua del tamaño más pequeño permitido y también para unir los componentes de miembros ensamblados. La longitud efectiva de cualquier segmento de soldadura de filete intermitente no será inferior a cuatro veces el tamaño de la soldadura, con un mínimo de 38 mm.
- En juntas traslapadas, la mínima longitud de traslapo será igual a cinco veces el espesor de la parte más delgada unida, pero no menor de 25 mm. Las juntas traslapadas que unen platinas o barras solicitadas por esfuerzos axiales deberán tener soldadura de filete a lo largo del extremo de ambas partes traslapadas, excepto donde la deflexión de las partes traslapadas está suficientemente restringida para impedir la abertura de la junta bajo máxima carga.
- No deberán terminarse soldaduras de filete en los extremos o lados de elementos o miembros. Deberán rematarse en forma continua alrededor de las esquinas en una distancia no inferior a dos veces el tamaño nominal de la soldadura o deberán terminarse a una distancia del extremo o borde no menor que el tamaño nominal de la soldadura. Para detalles y elementos estructurales tales como ménsulas, asientos de vigas, ángulos de montaje y platinas simples de extremo que estén sujetas a fuerzas cíclicas (fatiga) fuera de su plano y/o momentos de frecuencia y magnitud que tiendan a iniciar una falla progresiva de la soldadura, las soldaduras de filete deben rematarse alrededor del lado o extremo en una distancia mayor que dos veces el tamaño nominal de la soldadura. Para ángulos de montaje y conexiones con platinas de extremo simples que dependen de la flexibilidad de las aletas salientes para la flexibilidad de la conexión, los remates doblando las esquinas, si se utilizan, no deben exceder 4 veces el tamaño nominal de la soldadura. Las soldaduras de filete que se encuentran en lados opuestos de un plano común deberán interrumpirse en la esquina común de ambas soldaduras. Estos remates deberán indicarse en los planos de diseño y de detalles.
- Las soldaduras de filete en agujeros o ranuras pueden utilizarse para transmitir cortante en juntas traslapadas o para evitar el pandeo o separación de elementos traslapados y para unir los componentes de miembros ensamblados. Tales soldaduras pueden traslaparse, sujetas a las estipulaciones de F.2.10.2. Las soldaduras de filete en agujeros o ranura no se han de considerar como soldaduras de tapón o de ranura.

F.2.10.2.3 - Soldaduras de tapón y de ranura

(a) Área efectiva - Se considera como área efectiva para resistir el cortante en soldaduras de tapón y de ranura el área nominal del agujero o de la ranura en el plano de la superficie de contacto.

Tabla F.2-4

Mínimo espesor de la garganta efectiva de soldaduras acanaladas de penetración parcial

Espesor del material de la parte más gruesa a unir, (mm)	Espesor mínimo de la garganta efectiva * (mm)
Hasta 6 (1/4") inclusive	3
de 6 a 13 (1/4"-1/2")	5
de 13 a 19 (1/2"-3/4")	6
de 19 a 38 (3/4"-1 1/2")	8
de 38 a 57 (1 1/2"-2 1/4")	10
de 57 a 152 (2 1/4"-6")	13
mayor de 152 (6")	16

*Véase F.2.10.2

Tabla F.2-5

Mínimo tamaño de soldadura de filete**

Espesor del material de la parte más gruesa a unir (mm)	Mínimo tamaño de la soldadura de filete* (mm)
Hasta 7 (1/4") inclusive	3
de 7 a 13 (1/4"-1/2")	5
de 13 a 19 (1/2"-3/4")	6
mayor de 19 (3/4")	8

* Dimensión del lado de soldaduras de filete. Debe aplicarse en una sola pasada

** Véase F.2.10.2.2 literal (b) para el tamaño máximo de las soldaduras de filete.

(b) Limitaciones - Las soldaduras de tapón y de ranura se pueden usar para transmitir cortante en juntas traslapadas o para impedir el pandeo de las partes traslapadas y para unir las partes componentes de miembros ensamblados.

El diámetro de los agujeros para soldaduras de tapón no será menor que el espesor de la parte que los contiene más 8 mm, ni mayor que el diámetro mínimo más 3 mm o de 2.25 veces el espesor de la soldadura.

La distancia mínima, entre centros de agujeros de soldaduras de tapón será cuatro veces el diámetro del agujero.

La longitud de la ranura de una soldadura de esta clase no deberá exceder 10 veces el espesor de la soldadura. El ancho de la ranura no debe ser menor que el espesor de la parte que la contiene más 8 mm, ni mayor de 2.25 veces el espesor de la soldadura. Los extremos de la ranura serán semicirculares o tendrán las esquinas redondeadas, con un radio no menor que el espesor de la parte que la contiene, excepto aquellos extremos que se extienden hasta el borde del elemento.

La distancia mínima entre las líneas de soldadura de ranura en el sentido transversal a su longitud será 4 veces el ancho de la ranura. La distancia mínima entre centros de soldadura en el sentido longitudinal sobre cualquier línea deberá ser dos veces la longitud de la ranura.

El espesor de las soldaduras de tapón o de ranura en materiales de 16 mm (5/8") o menos de espesor, será igual al espesor del material. En materiales de espesor mayor de 16 mm, el espesor de la soldadura será como mínimo igual a la mitad del espesor del material pero no inferior a 16 mm.

F.2.10.2.4 - Resistencia de diseño - La resistencia de diseño de las soldaduras será el menor valor entre $\phi F_{BM} A_{BM}$ y $\phi F_w A_w$, según sea aplicable. Los valores de ϕ , F_{BM} , F_w y sus limitaciones se dan en la tabla F.2-6.

en donde:

- F_{BM} = resistencia nominal del material base, MPa
- F_w = resistencia nominal del electrodo de soldadura, MPa
- A_{BM} = área de la sección transversal del material base, mm²
- A_w = área efectiva de la sección transversal de la soldadura, mm²
- ϕ = coeficiente de resistencia

NSR-98 – Capítulo F.2 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados: diseño para estados límites

**Tabla F.2-6
Resistencia de diseño de soldaduras**

Tipo de soldadura y esfuerzo (a)	Material	Coficiente de resistencia nominal	Resistencia nominal de la soldadura F_{BM} o F_u	Nivel requiendo (b, c)		
Soldaduras acanaladas de penetración total						
Tensión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Se debe usar soldadura "compatible"		
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y			
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura						
Cortante sobre el área efectiva	Base Electrodo	0.90 0.80	$0.60F_y$ $0.60F_{EXX}$			
Soldaduras acanaladas de penetración parcial						
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Se puede utilizar soldadura con nivel de resistencia igual o menor al de la soldadura compatible		
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura (d)						
Cortante paralelo al eje de soldadura					Base Electrodo	0.75 $0.60F_{EXX}$ (e)
Tensión normal al área efectiva					Base Electrodo	0.90 0.80
Soldaduras de filete						
Cortante sobre el area efectiva	Base Electrodo	0.75	$0.60F_{EXX}$ (f)	Se puede utilizar nivel de resistencia igual o menor al de la soldadura compatible.		
Tensión o compresión paralelas al eje de soldadura (d)	Base	0.90	F_y			
Soldaduras de tapón o de ranura						
Cortante paralelo a las superficies de contacto (sobre el área efectiva)	Base Electrodo	0.75	$0.60F_{EXX}$ (e)	Se puede utilizar con soldadura con nivel de resistencia igual o menor que el de la soldadura compatible.		

Notas:

- (a) Para la definición del área efectiva, véase F.2.10.2.
- (b) Para la soldadura "compatible", véase la tabla 4.1.1, del Código Colombiano de Soldadura de FEDESTRUCTURAS
- (c) Se permite soldadura con una resistencia superior en un nivel a la de la soldadura "compatible".
- (d) Las soldaduras de filete y las acanaladas 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 paralelos al eje de las soldaduras
- (e) El diseño del material conectado está gobernado por F 2.10.4 y F 2.10.5
- (f) Véase F.2.19.1 para una resistencia de diseño alterna.

Alternativamente, las soldaduras de filete cargadas en su propio plano pueden ser diseñadas de acuerdo con F.2.19.1.1

F.2.10.2.5 - Combinación de soldaduras - Si dos o más tipos generales de soldaduras (acanalada, filete, tapón, ranura) se combinan en una junta sencilla, la resistencia de diseño de cada una se calcula separadamente con relación al eje del grupo con el fin de determinar la resistencia de diseño del grupo.

F.2.10.2.6 - Escogencia de electrodos - La selección de los electrodos que deben usarse en soldaduras acanaladas de penetración completa solicitadas por tensión normal al área efectiva está definida por los requisitos para aceros compatibles dados en el Código de la Sociedad Americana de Soldadura, adaptado por FEDESTRUCTURAS

F.2.10.2.7 - Metal de aporte mixto - Cuando se requiere un índice de tenacidad a la ranura, los componentes de todo el metal de aporte, el punteo de soldadura, las pasadas de la raíz y las pasadas subsiguientes depositadas en la unión deberán ser compatibles para garantizar la tenacidad del metal de aporte compuesto

F.2.10.2.8 - Precalentamiento para secciones pesadas - Para los miembros ensamblados soldados fabricados con placas de más de 50 mm de espesor y perfiles laminados tipo ASTM A6 grupos 4 y 5, deberá usarse un precalentamiento mayor o igual a 180°C cuando se hagan empalmes con soldadura acanalada.

F.2.10.3 - PERNOS Y PARTES ROSCADAS

F.2.10.3.1 - Pernos de alta resistencia - Excepto que se exija lo contrario en esta especificación, el uso de pernos de alta resistencia deberá cumplir con las estipulaciones de las normas ASTM A325 o A490, "Especificación para pernos en uniones de acero estructural- 1985", aprobada por el "Research Council on Structural Connections".

En todos los casos de conexiones a tensión y aplastamiento en que se requiera apretar pernos NTC 858 (ASTM A449) a más del 50% de su resistencia mínima especificada, habrá de colocarse una arandela de acero templado ASTM F436 bajo la cabeza del perno; a su vez las tuercas deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM A563. Cuando se ensamblen, todas las superficies de juntas, incluyendo aquellas adyacentes a las arandelas, deberán estar libres de escamas, excepto escamas de laminación no protuberantes. Todos los pernos A325 (Gr5) y NTC 4028 (ASTM A490 Gr8), excepto como se indique más adelante, deberán apretarse a una tensión no inferior a la indicada en la tabla F.2-7. El apriete deberá realizarse por el método de giro de tuerca, un indicador directo de tensión, un torcómetro, o pernos de diseño alterno.

Los pernos en conexiones que no están solicitadas por cargas de tensión, donde puede permitirse algún deslizamiento y donde el aflojamiento o fatiga a causa de vibraciones o fluctuaciones de carga no son consideraciones de diseño, solamente necesita apretarse normalmente. Esta condición se logra con el apriete obtenido por unos pocos golpes de una llave de impacto o el esfuerzo máximo de un trabajador con una llave común, garantizando así un contacto firme entre las partes conectadas. Para apretar los pernos en esta condición normal, debe utilizarse el valor de resistencia nominal de la tabla F.2-8 para conexiones tipo aplastamiento. Estos pernos estarán claramente identificados en los planos de taller y de montaje.

Cuando se usen pernos NTC 4028 (ASTM A490) con diámetros mayores de 25.4 mm en agujeros agrandados o de ranura localizados en caras exteriores, se deberá utilizar una arandela de acero templado que cumpla la norma ASTM F436 en lugar de una arandela estándar, excepto si se tiene un espesor mínimo de 8 mm.

En conexiones de deslizamiento crítico en las que la dirección de la carga está dirigida hacia el borde de un elemento conectado, deberá proporcionarse una adecuada resistencia al aplastamiento bajo carga mayorada de acuerdo con los requisitos aplicables de F.2.10.3.10.

**Tabla F.2-7
Mínima tensión de pernos, kilonewtons***

Tamaño del perno mm (pulgadas)	Pernos A325	Pernos NTC 4028 (ASTM A490)
12.7 (1/2)	55	70
15.9 (5/8)	80	110
19.1 (3/4)	120	160
22.2 (7/8)	170	215
25.4 (1)	225	285
28.6 (1 1/8)	250	350
31.8 (1 1/4)	315	450
34.9 (1 3/8)	380	540
38.1 (1 1/2)	455	660

* Igual a 0.70 de la mínima resistencia a tensión de los pernos, redondeada a las 5 kN de acuerdo con las normas ASTM A325 y NTC 4028 (ASTM A490) para pernos con roscas UNC.

F.2.10.3.2 - Perforaciones: tamaño y requisitos de empleo

- (a) En conexiones de deslizamiento crítico en las que la dirección de la carga está dirigida hacia el borde de un elemento conectado, deberá proporcionarse una capacidad adecuada al aplastamiento bajo carga mayorada de acuerdo con los requisitos aplicables de F.2.10.3.10.

NSR-98 – Capítulo F.2 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados: diseño para estados límites

- (b) Los tamaños máximos de las perforaciones para pernos y remaches se encuentran estipulados en la tabla F.2-9, excepto que pueden utilizarse perforaciones mayores, en los diseños de las bases de las columnas, necesarias por las tolerancias en la localización de pernos de anclaje en las fundaciones de concreto.
- (c) Deben proveerse perforaciones estándares en las conexiones miembro a miembro, a menos que el diseñador apruebe el uso de perforaciones agrandadas, de ranura corta o larga. Podrán utilizarse platinas de relleno hasta de 6 mm (1/4") en las conexiones de deslizamiento crítico diseñadas con base en perforaciones estándares sin reducir la resistencia de corte nominal del conector a aquella especificada para perforaciones ranuradas.
- (d) Perforaciones agrandadas pueden utilizarse en cualquiera o en todos los empalmes de conexiones por fricción, pero no en las conexiones por aplastamiento. Deberán instalarse arandelas endurecidas sobre las perforaciones agrandadas en las caras de un empalme exterior.
- (e) Perforaciones de ranura corta pueden utilizarse en cualquiera o en todos los empalmes de conexiones de deslizamiento crítico o por aplastamiento. Las ranuras pueden utilizarse sin considerar la dirección de la carga en las conexiones de deslizamiento crítico pero la longitud de la ranura será perpendicular a la dirección de la carga en conexiones por aplastamiento. Se colocarán arandelas sobre las perforaciones de ranura cortante en la platina exterior; cuando se utilicen pernos de alta resistencia las arandelas deberán ser endurecidas.
- (f) Perforaciones de ranura larga pueden utilizarse solamente en una de las partes de empalme de una conexión de deslizamiento crítico o por aplastamiento en una superficie de contacto individual. Las perforaciones de ranura larga pueden utilizarse sin considerar la dirección de la carga en conexiones de deslizamiento crítico, pero serán perpendiculares a la dirección de la carga en conexiones por aplastamiento. Cuando se utilicen perforaciones de ranura larga en una platina exterior, se proveerán arandelas de platina o platinas continuas con perforaciones estándares, de tamaño suficiente para cubrir totalmente la ranura después de instalarla. En conexiones con pernos de alta resistencia, las arandelas de platina o las platinas continuas deberán tener un espesor no inferior a 8 mm (5/16 de pulgada) y ser de un material de grado estructural no necesariamente endurecido. Si se requieren arandelas endurecidas para los pernos de alta resistencia, éstas deberán colocarse sobre la superficie exterior de la arandela de platina o de la platina continua.

F.2.10.3.3 - Separación mínima - La distancia entre centros de perforaciones de conectores estándares, agrandadas o ranuradas no podrá ser menor a 2-2/3 veces el diámetro nominal del conector; se prefiere una distancia de 3d. Véase F.2.10.3.10 para los requisitos de resistencia por aplastamiento.

F.2.10.3.4 - Distancia mínima al borde - La distancia del centro de una perforación estándar a cualquier borde de la parte conectada no será inferior al valor aplicable de la tabla F.2-10 ni al requerido en F.2.10.3.10.

La distancia del centro de una perforación agrandada o ranurada al borde de una parte conectada no será inferior a la prevista para una perforación estándar más el incremento aplicable C_2 de la tabla F.2-14. Véase F.2.10.3.10 para los requisitos de resistencia por aplastamiento.

F.2.10.3.5 - Distancia al borde y espaciamientos máximos - La distancia máxima del centro de cualquier perno o remache al borde más próximo de las partes en contacto será igual a 12 veces el espesor de la parte conectada en consideración pero sin exceder de 150 mm. El espaciamiento longitudinal de conectores de elementos en contacto continuo consistentes en una placa y un perfil o en dos placas será:

- a) Para miembros pintados o sin pintar que no estén sometidos a corrosión, el espaciamiento no será mayor de 24 veces el espesor de la placa más delgada ni 300 mm.
- b) Para miembros de acero sin pintar sometidos a la corrosión atmosférica, el espaciamiento no será mayor de 14 veces el espesor de la placa más delgada ni 175 mm.

**Tabla F.2-8
Resistencia de diseño en sujetadores**

Descripción de los sujetadores	Resistencia a la tensión		Corte en conexiones tipo aplastamiento	
	Coefficiente de resistencia ϕ	Resistencia nominal MPa	Coefficiente de resistencia ϕ	Resistencia nominal MPa
Pernos A307	0.75	310 (a)	0.75	165 (b, e)
Pernos A325 cuando hay roscas en los planos de corte		620 (d)		330 (e)
Pernos A325, cuando no hay roscas en los planos de corte		620 (d)		415 (e)
Pernos NTC 4028 (ASTM A490), cuando hay roscas en los planos de corte		780 (d)		415 (e)
Pernos NTC 4028 (ASTM A490), cuando no hay roscas en los planos de corte		780 (d)		520 (e)
Partes roscadas que cumplan con los requisitos de F.2.1.3, cuando hay roscas en los planos de corte		$0.75F_u$ (a, c)		$0.40F_u$
Partes roscadas que cumplan con los requisitos de F.2.1.3, cuando no hay roscas en los planos de corte		$0.75F_u$ (a, c)		$0.50F_u$ (a, c)
Remaches grado 1, colocados en caliente NTC 4033 (ASTM A502)		310 (a)		170 (e)
Remaches grados 2 y 3, colocados en caliente NTC 4033 (ASTM A502)		415 (a)		225 (e)

Notas:

- (a) Únicamente para carga estática
- (b) Se aceptan roscas en los planos 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_b , será mayor que el valor obtenido al multiplicar F_u por el área nominal del cuerpo de la barra antes de su ensanchamiento
- (d) Para pernos A325 y NTC 4028 (ASTM A490) sujetos a cargas de fatiga, véase F.2.20.2
- (e) Los valores tabulados se reducirán en un 20% cuando las conexiones tipo aplastamiento utilizadas para unir miembros en tensión tengan una disposición de sujetadores cuya longitud, medida en la dirección paralela a la de la fuerza, sea mayor de 1250 mm

**Tabla F.2-9
Dimensiones nominales de perforaciones, mm**

Diámetro del perno mm (pulgada)	Dimensiones de perforaciones (mm)			
	Estándar (Diámetro)	Agrandadas (Diámetro)	Ranuras cortas (ancho x largo)	Ranuras largas (ancho x largo)
12.7 (1/2")	14	16	14 x 18	14 x 35
15.9 (5/8")	18	20	18 x 22	18 x 40
19.1 (3/4")	21	24	21 x 26	21 x 45
22.2 (7/8")	24	28	24 x 30	24 x 55
25.4 (1")	27	32	27 x 34	27 x 60
28.6 ($\geq 1 1/8$ ")	$d + 3$	$d + 8$	$(d+3) \times (d+10)$	$(d+3) \times (2.5 d)$

F.2.10.3.6 - Resistencia de diseño para tensión o cortante - La resistencia de diseño para tensión o cortante de pernos de alta resistencia o de partes roscadas es $\phi F_n A_b$.

en donde:

- ϕ = coeficiente de resistencia dado en la tabla F.2-8
- F_n = resistencia nominal a la tensión F_t o resistencia al corte F_v , dada en la tabla F.2-8, MPa
- A_b = área nominal del vástago sin roscas del perno o parte roscada (para varillas ensanchadas, véase la nota (c) de la tabla F.2-8), mm²

La carga aplicada será la suma de las cargas mayoradas y de cualquier tensión resultante del efecto de tenaza producido por la deformación de las partes conectadas.

Tabla F.2-10
Distancia mínima al borde^(a), mm
(Centro de la perforación estándar^(b) al borde de la parte conectada)

Diámetro nominal del perno o remache mm (pulgada)	En bordes cortados con cizalla	En bordes laminados de platinas, perfiles o barras y bordes cortados con soplete (c)
12.7 (1/2")	22	19
15.9 (5/8")	29	22
19.1 (3/4")	32	25
22.2 (7/8")	38 (d)	29
25.4 (1")	44 (d)	32
28.6 (1 1/8")	51	38
31.8 (1 1/4")	57	41
31.8 (≥1 1/4")	1.75 x diámetro	1.25 x diámetro

Notas:

- (a) Se permiten distancias al borde menores a las dadas en esta tabla si se satisfacen las ecuaciones de F 2 10 3 10, las que sean aplicables.
- (b) Para huecos agrandados o ranurados, véase la tabla F 2-14
- (c) Todas las distancias al borde en esta columna pueden reducirse en 3 mm cuando la perforación está en un punto en donde el esfuerzo no exceda el 25% de la máxima resistencia de diseño en el elemento
- (d) Pueden ser 32 mm en los extremos de ángulos de conexión de vigas y platinas de extremo de cortante.

F.2.10.3.7 - Esfuerzo combinado de cortante y de tensión en conexiones tipo aplastamiento - La resistencia de diseño de un perno o remache sometido a una combinación de esfuerzos de tensión y corte es $\phi F_t A_b$, donde $\phi = 0.75$ y el esfuerzo nominal de tensión F_t será el calculado con las ecuaciones de la tabla F 2-11 como una función del esfuerzo de corte requerido f_v producido por las cargas mayoradas. La resistencia de diseño al corte ϕF_v tabulada en la tabla F.2-8 deberá ser mayor o igual que el esfuerzo de corte f_v .

F.2.10.3.8 - Pernos de alta resistencia en conexiones de deslizamiento crítico - El diseño para corte de pernos de alta resistencia en juntas de deslizamiento crítico se realizará de acuerdo con este numeral y se deberán verificar por aplastamiento de acuerdo con F.2.10.3.2 y F.2.10.3.10.

En las conexiones por deslizamiento crítico sometidas a cargas de servicio, la resistencia de diseño a corte de un perno es $\phi F_v A_b$.

en donde:

- $\phi = 1.0$ para huecos estándar, agrandados, de ranura corta y de ranura larga perpendicular a la línea de acción de la fuerza
- $\phi = 0.85$ para huecos de ranura larga paralela a la línea de acción de la fuerza
- $F_v =$ resistencia nominal al corte por deslizamiento crítico, dada en la tabla F 2-12, MPa

La resistencia de diseño al corte deberá ser mayor o igual al corte en el perno debido a las cargas de servicio. Cuando la combinación de carga incluye cargas de viento en combinación con cargas muertas y vivas, el cortante total en el perno debido a la combinación de los efectos de las cargas de servicio puede ser multiplicado por 0.75.

Los valores de F_v dados en la tabla F.2-12 están calculados con base en un coeficiente de deslizamiento de 0.33 para superficies Clase A, correspondientes a superficies limpias de escamas de laminación y superficies limpiadas con chorro y revestidas con un recubrimiento Clase A. Cuando se especifica en el diseño, la resistencia nominal al deslizamiento para conexiones que tengan condiciones especiales de superficies de contacto puede ajustarse hasta los valores aplicables en el método de diseño con coeficientes de carga y de resistencia del "Research Council on Structural Connections".