

$$P_{RS} = \phi p_o A_e$$

donde:

$p_o$  = esfuerzo límite (véanse las tablas F 7 4 1 y F.7 4 2)

$A_e$  = área efectiva obtenida teniendo en cuenta el espesor reducido para considerar el pandeo y el ablandamiento en la zona afectada por el calor, pero ignorando los agujeros

Para la revisión por pandeo el área efectiva generalmente debe basarse en la sección transversal menos favorable, tomando un espesor igual al menor de  $k_L t$  y  $k_{LT}$  en las regiones afectadas por el calor, y  $k_{LT}$  en las demás zonas. Sin embargo, en esta revisión se puede ignorar el ablandamiento debido a soldaduras en los bordes cargados

El factor  $k_L$  puede determinarse mediante el más favorable de los siguientes tratamientos

- **Tratamiento como lámina.**

$k_L$  se lee en la curva C o D de la figura F.7.4.5 tomando:

$$\beta = \frac{d}{t} \quad \text{y} \quad \epsilon = \left( \frac{25}{p_o} \right)^{1/2} \quad (\text{F.7-73})$$

- **Tratamiento como columna**

$k_L$  se toma igual a la relación  $p/p_o$ , en la que  $p$ , es el esfuerzo de pandeo como columna leído en la figura F.7.4.10 (a). La curva apropiada es la que intersecta el eje de esfuerzos en un valor  $p_o$ . El parámetro de esbeltez  $\lambda$  debe ser normalmente tomado como:

$$\lambda = \frac{3.5a}{t}$$

éste valor corresponde a apoyo simple, aunque se puede tomar un valor menor si es justificado

**F.7.5.2.2 - Láminas no rigidizadas bajo momento en su plano** - La resistencia de una lámina ante momento puro en su plano actuando sobre los lados de ancho  $d$  (véase la figura F 7.5.1) se describe en los literales (a) a (c) de este numeral. Si el momento varía en la dirección paralela a la dimensión  $a$ , consulte también F 7 5 2.3.

**(a) Clasificación** - Las lámina debe clasificarse de acuerdo con:

$\beta \leq \beta_1$	totalmente compacta
$\beta_1 < \beta \leq \beta_o$	semi-compacta
$\beta > \beta_o$	esbelta

donde

$$\beta = \frac{0.35d}{t} \quad (\text{F.7-75})$$

$\beta_o$  y  $\beta_1$  están dados en la tabla F.7.4.3

**(b) Láminas totalmente compactas y semi-compactas** - La resistencia de diseño a momento  $M_{RS}$  se debe tomar con base en la sección transversal menos favorable usando la expresión pertinente del literal (b) de F.7.4 5.2 (numerales F 7 19 a F.7.22) y tomando una sección supuesta tal como lo define el literal (c) del mismo numeral en las dos primeras partes

(c) **Láminas esbeltas** - La resistencia de diseño a momento debe tomarse como el menor de los valores encontrados en las revisiones por fluencia y pandeo:

- **Revisión por fluencia** - Para una lámina semi-compacta,  $M_{RS}$  se obtiene como en el literal (b) de F 7 5 2 2 ignorando el pandeo
- **Revisión por pandeo** - Se determina  $M_{RS}$  tal como se indica a continuación:

$$M_{RS} = \phi P_o Z_e \quad (F.7-76)$$

donde

$Z_e$  = módulo elástico de la sección efectiva

El cálculo de F.7-76 debe basarse, por lo general, en la sección efectiva en la posición más desfavorable, sin reducción por agujeros y tomando un espesor igual al menor entre  $k_t t$  y  $k_c t$  en las regiones afectadas por el calor, y  $k_c t$  en las demás zonas. Sin embargo, en esta revisión puede ignorarse el ablandamiento debido a soldaduras en los bordes cargados.

El factor  $k_L$  debe ser leído en la curva C o D de la figura F.7.4.5 tomando:

$$\beta = \frac{0.35d}{t} \quad y \quad \varepsilon = \left( \frac{25}{P_o} \right)^{1/2} \quad (F.7-77)$$

**F.7.5.2.3 - Gradiente de esfuerzo longitudinal en láminas no rigidizadas** - Los casos en que la acción aplicada P o M sobre una lámina no rigidizada varía longitudinalmente en la dirección mostrada en la figura F 7 5.1, se presentan en los siguientes literales.

(a) **Láminas totalmente compactas y semi-compactas** - La resistencia de diseño en cualquier sección transversal no debe ser menor que la acción generada en esa sección bajo carga mayorada

(b) **Láminas esbeltas** - La revisión por fluencia debe satisfacerse una vez más en cada sección transversal Para la revisión por pandeo, es suficiente comparar la resistencia de diseño con la acción generada a una distancia x del extremo más cargado del panel, donde x es igual a 0.4 veces la longitud de la media onda de pandeo elástico de la lámina.

**F.7.5.2.4 - Láminas no rigidizadas sometidas a cortante** - Las láminas no rigidizadas sujetas a cortante deben clasificarse como compactas o esbeltas de acuerdo con el literal (a) de F.7.4.5.3.

La presencia de agujeros pequeños puede ignorarse en el cálculo de la resistencia al corte siempre y cuando ellos no ocupen más del 20% del área de la sección transversal sobre el ancho d.

(a) **Alma a cortante compacta** - La resistencia de diseño a fuerza cortante  $V_{RS}$  debe encontrarse usando lo siguiente:

$$V_{RS} = \phi P_v A_v \quad (F.7-78)$$

donde

- $P_v$  = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)
- $A_v$  = área de cortante efectiva tomada de acuerdo con:

para láminas no soldadas  $A_v = dt$

para láminas totalmente soldadas a lo largo de uno o más bordes  $A_v = k_c dt$

para láminas parcialmente soldadas,  $A_v$  es el área efectiva sobre el ancho  $d$  encontrada tomando un espesor reducido  $k_t t$  en las zonas ablandadas (véanse F.7.4.4.2 y F.7.4.4.3)

**(b) Alma a cortante esbelta** - La resistencia de diseño a fuerza cortante  $V_{RS}$  se debe tomar como el menor de los dos valores obtenidos como sigue:

- **Revisión por fluencia.** La resistencia se encuentra, como para una lámina compacta, usando el literal (a) de F.7.5.2.4
- **Revisión por pandeo.** La resistencia puede encontrarse, seguramente, como se hizo en el literal (c) de F.7.4.5.3.

Alternativamente, la siguiente expresión puede usarse y es más favorable cuando  $a$  es menor que  $2.5d$ .

$$V_{RS} = \phi v_1 p_v dt \quad (\text{F.7-79})$$

donde  $v_1$  es el coeficiente de pandeo por cortante elástico leído en la figura F.7.5.4 tomando

$$v_1 = \left( \frac{15}{p_v} \right)^{1/2} \quad (\text{F.7-80})$$

La expresión del literal (c) de F.7.4.5.3 no tiene en cuenta la acción de campo tensionado. Si se cree que las condiciones de borde son tales que se tiene un campo tensionado, el diseñador debe referirse a un tratamiento aún más favorable disponible para paneles tipo 1 en almas de vigas ensambladas (véase el literal (c) de F.7.5.4.2)

**F.7.5.2.5 - Acciones combinadas** - Una lámina, sujeta a fuerza axial  $P$  combinada con momento  $M$  bajo carga mayorada, debe clasificarse como totalmente compacta, semi-compacta o esbelta, generalmente de acuerdo con el literal (a) de F.7.4.8.2. Para hacer ésto, el valor de  $\beta$  tomado debe basarse en el patrón de esfuerzo producido en la lámina cuando  $P$  y  $M$  actúan conjuntamente, basándose en un valor apropiado de  $g$  (véase la figura F.7.4.2)

Cuando la lámina se clasifica como esbelta, cada resistencia individual ( $P_{RS}$  y  $M_{RS}$ ) debe basarse en el tipo específico de acción considerada, como en el literal (b) de F.7.4.8.2

**(a) Fuerza axial con momento** - La siguiente condición debe satisfacerse para una lámina sujeta a fuerza axial con momento

$$\frac{P}{P_{RS}} + \frac{M}{M_{RS}} \leq 1.0 \quad (\text{F.7-81})$$

donde

- $P$  y  $M$  = fuerza axial y momento en el plano, respectivamente, generados bajo carga mayorada
- $P_{RS}$  y  $M_{RS}$  = resistencias de diseño a fuerza axial y momento en el plano, respectivamente, cada una reducida para tener en cuenta cortante elevado coincidente, si es necesario (véase el literal (c) de F.7.5.2.5)

**(b) Esfuerzo directo con cortante bajo** - Se puede suponer que una fuerza de cortante coincidente  $V$  (bajo carga mayorada) no tiene efecto sobre la resistencia de la lámina siempre que  $V$  no exceda la mitad de la resistencia a fuerza cortante de diseño  $V_{RS}$ .

**(c) Esfuerzo directo con cortante elevado** - Si  $V$  excede  $0.5V_{RS}$ , la resistencia longitudinal (fuerza axial, momento) se debe reducir por un coeficiente  $k_v$ , donde:

$$k_v = 1.6 - \frac{1.2V}{V_{RS}} \quad (F.7-82)$$

**F.7.5.3 - LAMINAS MULTI-RIGIDIZADAS** - Las siguientes reglas conciernen a láminas, soportadas en todos los cuatro bordes (véase figura F.7.5.2), que están reforzadas con tres o más, igualmente espaciados, rigidizadores o corrugaciones. Estas pueden ser no soportadas en su longitud total o ser continuas sobre rigidizadores transversales intermedios. La dimensión **L** debe tomarse como el espaciamiento de los apoyos, cuando se aplique. Una característica esencial del diseño es que el refuerzo longitudinal, pero no así los rigidizadores transversales, es "subcrítico", esto es, se puede deformar con la lámina en el modo de pandeo general.

La resistencia de tales láminas ante esfuerzo directo longitudinal en la dirección del refuerzo está dada en F.7.5.3.1 a F.7.5.3.3, y la resistencia a cortante, en F.7.5.3.4. La interacción entre diferentes efectos puede tenerse en cuenta del mismo modo que para láminas no rigidizadas (véase F.7.5.2.5).

Los tratamientos dados anteriormente se invalidan si la sección transversal contiene elementos salientes que se clasifiquen como esbeltos.

Cuando la construcción consiste de láminas planas con rigidizadores superpuestos, la resistencia a esfuerzo directo transversal puede tomarse igual a la de una lámina no rigidizada. Con construcción corrugada, ésto es despreciable.

**F.7.5.3.1 - Láminas multi-rigidizadas sujetas a compresión uniforme** - Se deben hacer dos revisiones, una por fluencia y otra como columna. La sección transversal debe clasificarse como compacta o esbelta de acuerdo con F.7.4.3.3, considerando todos los elementos componentes antes de llevar a cabo cada revisión. No se permiten elementos esbeltos salientes.

**(a) Revisión por fluencia** - La sección completa debe ser revisada para aplastamiento local en la misma forma que se hace para miembros a compresión (véase F.7.4.7.6). La resistencia  $P_{RS}$  se debe tomar con base en la sección transversal menos favorable considerando el pandeo local y el ablandamiento de la zona afectada por el calor, si es necesario, y también los agujeros no rellenos.

**(b) Revisión como columna** - La lámina se trata como un ensamblaje de subunidades idénticas de columna, cada una conteniendo un rigidizador o una corrugación centralmente cargado y con un ancho igual a la separación  $w$ . La resistencia axial de diseño  $P_{RS}$  se toma como:

$$P_{RS} = \phi p_s A \quad (F.7-83)$$

donde

- $p_s$  = esfuerzo de pandeo para una sub-unidad de columna
- $A$  = área bruta de la sección transversal completa de la lámina
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

El esfuerzo  $p_s$  debe leerse en la curva apropiada de la figura F.7.4.10, pertinente al pandeo como columna de la sub-unidad como un miembro a compresión simple, fuera del plano de la lámina.

El parámetro de esbeltez  $\lambda$ , necesario para la figura F.7.4.10, se debe basar en una longitud efectiva  $l$  igual a la menor de:

- la distancia entre posiciones de soporte lateral efectivo tales como soportes en los extremos o rigidizadores transversales efectivos, o
- la mitad de la longitud de onda del pandeo elástico ortotrópico

La parte de la figura F.7.4.10 (a), (b) o (c) usada depende de la forma de la sección de la sub-unidad y de si ésta contiene soldadura longitudinal (véase la tabla F.7.4.10), la curva real es la que intercepta el eje de esfuerzos en un valor  $p_1$ , como se define en F.7.4.7.5. Se debe considerar lo siguiente para determinar el área efectiva  $A_e$  (necesaria para encontrar  $p_1$ ).

- El valor de  $k_L$  para elementos tales como los E de la figura F 7.5.2, debe basarse en sus dimensiones totales aunque estén cortados en dos por la formación de subunidades
- El ablandamiento en la zona afectada por el calor debido a soldaduras en los extremos cargados o en rigidizadores transversales puede ignorarse para encontrar  $A_e$ .

**F.7.5.3.2 - Láminas multi-rigidizadas sujetas a momento en su plano** - Se deben hacer dos revisiones por fluencia y como columna.

**(a) Clasificación de la sección y pandeo local** - Para realizar cada revisión, primero ha de clasificarse la sección como compacta o esbelta (véase F.7.4 3 3)

Para el propósito de clasificar elementos individuales, y también para determinar  $k_L$  para elementos esbeltos, generalmente se puede suponer que cada elemento está sometido a compresión uniforme tomando  $g=1$  en el literal (a) de F 7.4.3 2. Sin embargo, en el caso de la revisión únicamente por fluencia, se permite basar  $g$  en el patrón de esfuerzos real en los elementos que conforman la región más extrema de la lámina y repetir ese valor para los elementos correspondientes más interiores. Esto puede ser favorable cuando el número de rigidizadores o corrugaciones es pequeño. No se deben permitir elementos esbeltos salientes

**(b) Revisión por fluencia** - La sección transversal completa de la lámina debe tratarse como una viga sujeta a flexión en su plano (véase el literal (b) de F 7 4.5 2) La resistencia a momento de diseño  $M_{RS}$  debe tomarse con base en la sección transversal menos favorable, teniendo en cuenta el pandeo local y el ablandamiento en la zona afectada por el calor, si es necesario, y también los agujeros

**(c) Revisión como columna** - La lámina se considera como un ensamblaje de subunidades de columna en la misma manera general que para compresión axial (véase el literal (b) de F.7.5.3.1), la resistencia a momento de diseño  $M_{RS}$  se toma de acuerdo con

$$M_{RS} = \phi \frac{p_s Z B}{2 y} \quad (F.7-84)$$

donde

- $p_s$  = esfuerzo de pandeo para una sub-unidad de columna
- $Z$  = módulo elástico de la sección transversal completa de la lámina para flexión en su plano
- $B$  = ancho total de la lámina
- $y$  = distancia desde el centro de la lámina hasta el centro del rigidizador más lejano
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase tabla F.7.3.1)

El esfuerzo  $p_s$  debe leerse en la figura F.7 4 10 del mismo modo que para compresión uniforme (vease el literal (b) de F 7 5 3 1)

**F.7.5.3.3 - Gradiente de esfuerzos longitudinal en láminas multi-rigidizadas** - En este numeral se describen los casos en que la acción aplicada  $P$  o  $M$  sobre una lámina multi-rigidizada varía en la dirección de los rigidizadores o corrugaciones.

**(a) Revisión por fluencia** - La resistencia de diseño en cualquier sección transversal no debe ser menor que la acción generada en esa sección bajo carga mayorada

**(b) Revisión como columna** - Para la revisión como columna es suficiente comparar la resistencia de diseño con la acción generada bajo carga mayorada a una distancia  $x$  del extremo más cargado de un panel, donde  $x$  es 0.4 veces la longitud de pandeo efectiva  $l$ .

**F.7.5.3.4 - Láminas multi-rigidizadas sometidas a cortante** - Se debe hacer una revisión por fluencia y una revisión por pandeo. Los métodos dados en los literales (a) y (b) de este numeral son válidos siempre y cuando ocurra lo siguiente:

- El espaciamiento  $w$  de los rigidizadores o corrugaciones no debe exceder  $0.3L$  (véase la figura F 7 5 2)

- Cualquier elemento saliente de la sección se clasifica como compacto en términos de resistencia axial (véase el literal (c) de F.7.4.3.3).
- Cualquier elemento interno se clasifica como compacto en términos de resistencia al cortante (véase el literal (a) de F.7.4.5.3).
- Los rigidizadores o corrugaciones, lo mismo que la lámina completa, están:
  - (1) efectivamente conectados al entramado transversal en cada extremo
  - (2) continuos en cualquier posición de rigidizador transversal.

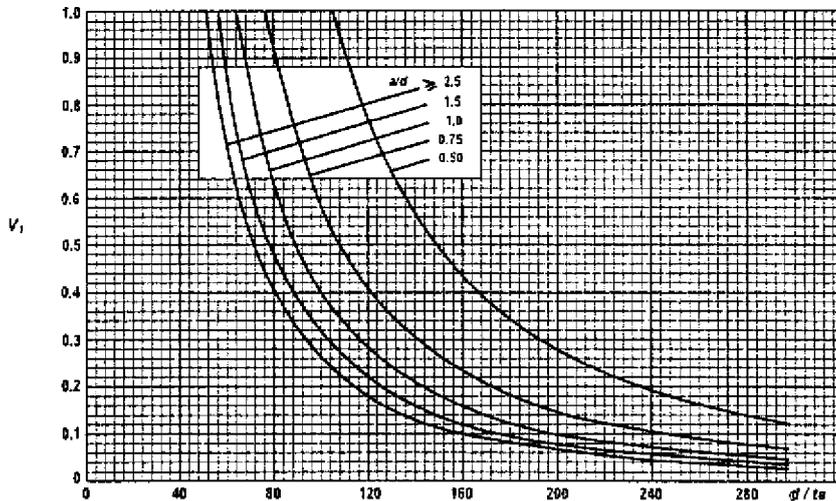
**(a) Revisión por fluencia** - La resistencia a fuerza cortante de diseño  $V_{RS}$  se toma igual a la de una lámina plana no rigidizada con el mismo aspecto general ( $L \cdot B$ ) y el mismo espesor general  $t$ . Se encuentra de acuerdo con el literal (a) de F.7.5.2.4.

**(b) Revisión por pandeo** - La resistencia de diseño a fuerza cortante se encuentra usando la siguiente expresión:

$$V_{RS} = \phi v_1 p_v B t \quad (F.7-85)$$

donde

- $p_v$  = esfuerzo límite (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- $B$  = ancho de la lámina (véase la figura F.7.5.2)
- $t$  = espesor general de la lámina
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)
- $v_1$  = coeficiente de pandeo crítico al corte en el rango elástico (véase la figura F.7.5.4)



NOTA: Para paneles rigidizados longitudinalmente,  $d$  debe tomarse como la altura del mayor subpanel

**Figura F.7.5.4**  
Coeficiente de pandeo crítico al corte en el rango elástico,  $v_1$

Para calcular  $v_1$  deben usarse los siguientes valores:

$$a = B$$

$$d = 0.6l \left( \frac{wt^3}{I_{SU}} \right)^{0.375} \quad (F.7-86)$$

- $l$  = longitud efectiva de la lámina
- $w$  = separación entre rigidizadores o corrugaciones

$I_{su}$  - segundo momento del área de una sub-unidad de lámina (como se define en el literal (b) de F.7.5.3.1) respecto al eje centroidal paralelo al plano de la lámina

$$\epsilon = \left( \frac{15}{p_v} \right)^{1/2}$$

La longitud efectiva  $l$  puede tomarse seguramente como la longitud no soportada  $L$  (véase la figura F.7.5.2). Cuando  $L$  excede ampliamente a  $B$ , se puede obtener un resultado más favorable haciendo  $l$  igual a la mitad de la longitud de onda del pandeo por cortante elástico ortotrópico. En la revisión por pandeo no es necesario tener en cuenta el ablandamiento en la zona afectada por el calor.

**F.7.5.4 - VIGAS ENSAMBLADAS** - Una viga ensamblada es una viga fabricada consistente de láminas actuando como aleta a tensión, aleta a compresión y alma. El alma típicamente tiene proporciones esbeltas y está reforzada transversalmente con rigidizadores de apoyo e intermedios (véase la figura F.7.5.3). Puede tener también rigidizadores longitudinales. Una característica básica es que los rigidizadores del alma son diseñados para dar extremos soportados a los paneles del alma permaneciendo esencialmente rectos cuando ocurre el pandeo.

Las resistencias a momento y cortante de las vigas ensambladas con almas transversalmente rigidizadas son cubiertas por F.7.5.4.1 y F.7.5.4.2. En F.7.5.4.3 se dan las modificaciones necesarias para cuando se adicionan rigidizadores longitudinales. Se permite seguir el apéndice F.7-D en lugar de F.7.5.4.1, si se desea, para determinar la resistencia a momento, esto puede conducir a economía en el diseño.

Los métodos dados en F.7.5.4.1, F.7.5.4.2 y F.7.5.4.3 son válidos siempre que ocurra lo siguiente.

- Los rigidizadores cumplen con F.7.5.4.4
- El espaciamiento  $a$  de los rigidizadores transversales no es menor que la mitad de la altura libre del alma medida entre las aletas (para almas corrugadas o cercanamente rigidizadas, véase F.7.5.4.5)

Puede ser benéfico suministrar una platina de encaje, a una o ambas aletas. Esta debe cumplir con el literal (g) de F.7.5.4.4 para ser efectiva.

La interacción entre momento y cortante es tratada en F.7.5.4.6.

Si el aplastamiento del alma o el pandeo torsional lateral se consideran factores influyentes, el diseñador debe consultar F.7.4.5.5 o F.7.4.5.6. Para vigas sujetas a carga axial y flexión, es pertinente F.7.4.8.

El tratamiento de vigas ensambladas dado en F.7.5.4.1 a F.7.5.4.6, es generalmente también aplicable a vigas con sección en cajón siempre que las almas sean de forma similar.

**F.7.5.4.1 - Resistencia a momento de vigas ensambladas rigidizadas transversalmente** - Para determinar la resistencia de diseño a momento se debe hacer una revisión por fluencia y una revisión por pandeo. Para vigas híbridas, con materiales diferentes en aletas y alma, se debe consultar también el literal (d) de F.7.4.5.2.

**(a) Revisión por fluencia** - El momento generado en cualquier sección transversal bajo carga mayorada no debe exceder la resistencia de diseño a momento  $M_{RS}$  que se usaría si la sección fuera tratada como semi-compacta. El valor de  $M_{RS}$  se obtiene usando el literal (b) de F.7.4.5.2 (ecuación F.7-20 o F.7-22), según sea adecuado, teniendo en cuenta los agujeros y los efectos de la zona afectada por el calor pero ignorando el pandeo local.

**(b) Revisión por pandeo** - El siguiente tratamiento se aplica a vigas ensambladas con rigidizadores transversales pero sin rigidizadores longitudinales.

Para cada tramo de viga entre rigidizadores transversales, el momento generado bajo carga mayorada, a una distancia igual a  $0.4a$  del extremo más esforzado, no debe exceder la resistencia de diseño a momento  $M_{RS}$  de ese tramo basada en la falla última por pandeo. El valor de  $M_{RS}$  se obtiene de acuerdo con el literal (b) de F.7.4.5.2 (ecuación F.7-23), teniendo en cuenta el pandeo local y el ablandamiento en la zona afectada por el

calor pero ignorando los agujeros. Sin embargo, para el propósito de esta revisión es permitido ignorar los efectos de la zona afectada por el calor causados por la soldadura de los rigidizadores transversales.

Para considerar el pandeo del alma se debe encontrar el coeficiente de espesor efectivo  $k_L$  de acuerdo con F.7.4.3.4, tomando  $\beta$  como en el literal (a) de F.7.4.3.2. No obstante, si el extremo a compresión del alma está más cerca del eje neutro que el extremo a tensión, se permite, en su lugar, proceder como en el literal (c) de F.7.5.4.1, lo que tiende a ser más favorable.

Se puede suponer que cualquier platina de encaje, si es suministrada, brinda soporte efectivo en el extremo a la lámina esbelta del alma a la cual está unida siempre y cuando cumpla con el literal (g) de F.7.5.4.4. Por lo tanto, para encontrar  $k_L$  para la lámina del alma en la figura F.7.4.5 (b),  $\beta$  puede basarse en un valor  $d$  medido hasta la punta de la o las platinas de encaje.

**(c) Tratamiento alternativo del pandeo del alma** - Si el eje neutro está localizado de modo que está más cerca del extremo del alma a compresión que del extremo a tensión, se permite tratar el alma como compuesta por dos zonas con diferentes valores de  $k_L$  obtenidos como se indica a continuación:

- **Zona 1**, se extiende una distancia  $y_1$  a cada lado del eje neutro:  
 $k_L$  se lee en la figura F.7.4.5 (b) tomando  $\beta = 0.7y_1/t$  donde  $y_1$  es la distancia desde el eje neutro de la sección bruta hasta el extremo a compresión.
- **Zona 2**, ocupa el resto del alma  
 $k_L = 1.0$

**F.7.5.4.2 - Resistencia a cortante de vigas ensambladas rigidizadas transversalmente** - Se deben hacer dos revisiones: por fluencia y por pandeo. En almas con soldaduras continuas longitudinales es también necesario hacer una revisión por zona afectada por el calor (véase el literal (d) de este numeral). La presencia de pequeños agujeros en la lámina del alma puede ignorarse para cada revisión siempre que éstos no ocupen más del 20% del área de la sección.

**(a) Revisión por fluencia** - La fuerza cortante  $V$  generada bajo carga mayorada en cualquier sección transversal, no debe exceder el valor de  $V_{RS}$  encontrado como se indica enseguida:

$$\text{sin platina de encaje} \quad V_{RS} = \phi P_{vw} A_{we} \quad (\text{F.7-87})$$

$$\text{con platina o platinas de encaje} \quad V_{RS} = \phi (P_{vw} A_{we} + P_{vt} A_{te}) \quad (\text{F.7-88})$$

donde

- $P_{vw}, P_{vt}$  = esfuerzos límites para los materiales del alma y la platina saliente respectivamente (equivalente a  $p_v$  en las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)
- $A_{we}$  = área de la sección efectiva del alma entre las aletas, o hasta los extremos de la platina de encaje
- $A_{te}$  = área de la sección efectiva de la platina de encaje, o área total de dos de ellas
- $\phi$  = coeficiente de reducción de capacidad (véase la tabla F.7.3.1)

Las áreas efectivas se obtienen tomando un espesor reducido igual a  $k_L$  veces el espesor real en cualquier región afectada por el calor (véanse F.7.4.4.2 y F.7.4.4.3).

**(b) Revisión por pandeo** - En cualquier vano entre rigidizadores transversales, la fuerza cortante  $V$  generada bajo carga mayorada no debe exceder el valor límite  $V_{RS}$  para ese vano, basado en la falla última por pandeo. El valor de  $V_{RS}$  debe encontrarse usando la expresión apropiada de las siguientes, en las que se saca ventaja del comportamiento posterior al pandeo:

$$\text{sin platina de encaje} \quad V_{RS} = \phi (v_1 + v_{if}) p_{vw} dt \quad (\text{F.7-89})$$

$$\text{con platina o platinas de encaje} \quad (\text{F.7-90})$$

donde

- d = altura del alma medida entre aletas, o hasta los extremos de la platina de encaje
- t = espesor no reducido de la lámina del alma
- $v_2$  = coeficiente de pandeo inicial por cortante, leído en la figura F.7.5.4 tomando

$$\epsilon = \left( \frac{15}{P_v} \right)^{1/2}$$

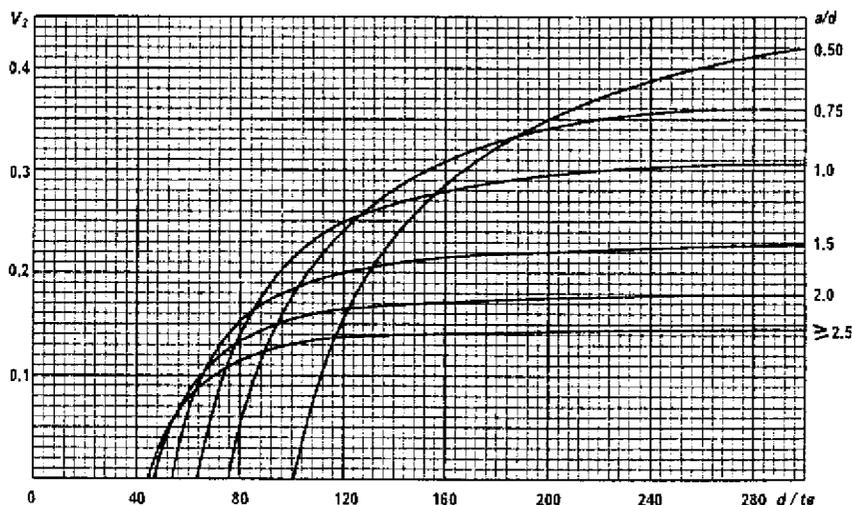
- $v_{if}$  = coeficiente de campo tensionado (véase el literal (c) siguiente)

Las otras cantidades son las definidas en el literal (c) de este numeral.

(c) **Acción de campo tensionado** - Se identifican dos tipos de paneles de alma:

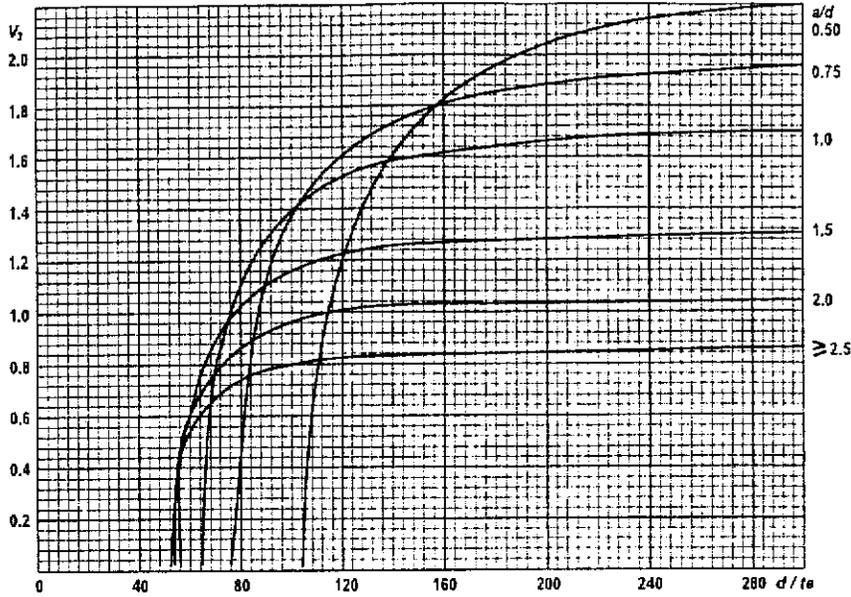
- **Tipo 1:** paneles capaces de mantener un campo tensionado, es decir:  
un panel interno  
un panel en un tramo final con un poste extremo que cumple con el literal (e) de F.7.5.4.4
- **Tipo 2:** un panel en un tramo final que carece de un poste extremo adecuado  
En los paneles tipo 2, la acción de campo tensionado es despreciable y por lo tanto  $v_{if}$  debe ser tomado como cero en el literal (b) de F.7.5.4.2.  
Los paneles tipo 1 son generalmente capaces de desarrollar resistencia a cortante adicional después de la aparición inicial de pandeo, debido a la acción de campo tensionado. En este caso  $v_{if}$  debe tomarse de acuerdo con lo siguiente:

- (i) panel no soldado  $v_{if} = v_2 + mv_3$  (F.7-91)
- (ii) panel con soldaduras en los extremos  $v_{if} = k_2(v_2 + mv_3)$  (F.7-92)



NOTA: Esta figura no debe ser usada para paneles con rigidizadores longitudinales.

**Figura F.7.5.5**  
Coeficiente básico de pandeo al corte considerando campo tensionado,  $v_2$



NOTA: Esta figura no debe ser usada para paneles con rigidizadores longitudinales.

Figura F.7.5.6

Coefficiente de pandeo al corte considerando campo tensionado y contribución de la aleta,  $v_3$

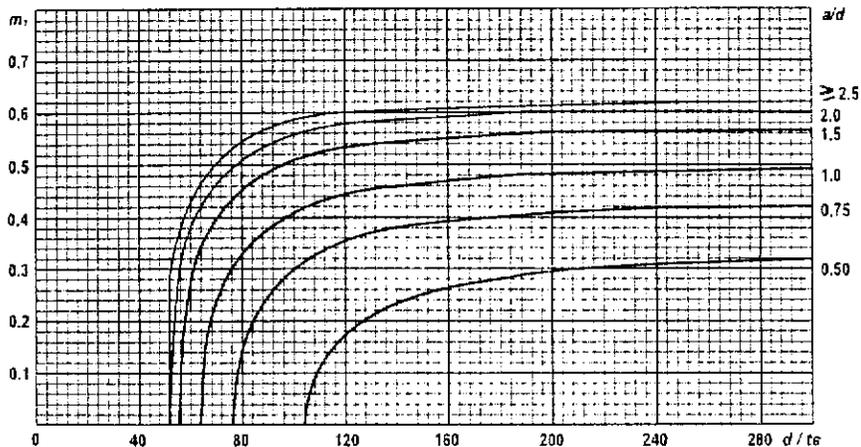
donde

- $v_2$  = coeficiente de pandeo por cortante determinado en la figura F.7.5.5
- $v_3$  = coeficiente de pandeo por cortante determinado en la figura F.7.5.6
- $k_2$  = coeficiente de ablandamiento de la zona afectada por el calor (véase F.7.4.4.2)
- $m_1, m_2$  = coeficientes de pandeo por cortante

donde  $m_1$  se determina en la figura F.7.5.7 y  $m_2 = \left(4p_{of}S_f/p_{ow}d^2t\right)^{1/2}$

donde

- $p_{of}$  y  $p_{ow}$  = esfuerzos límite  $p_o$  para el material de las aletas y el alma (véase la tabla F.7.4.1)
- $S_f$  = módulo plástico de la sección de aleta efectiva respecto a su propio eje de igual área, en el plano del alma (se toma el menor valor si las aletas son diferentes)



NOTA: Esta figura no debe ser usada para paneles con rigidizadores longitudinales.

Figura F.7.5.7

Coefficiente de pandeo por cortante  $m_1$

Para determinar  $S_r$ , la sección considerada debe incluir la lámina de la aleta conjuntamente con la platina de encaje si está presente, con la reducción de espesor apropiada para tener en cuenta el pandeo local y el ablandamiento en la zona afectada por el calor (véase el literal (c) de F.7.4.5.2) pero sin reducción por agujeros. Si la viga tiene dos o más almas, el módulo plástico de la aleta completa debe ser apropiadamente compartido para obtener  $S_r$  para cada alma.

**(d) Revisión por zona afectada por el calor** - En almas con soldaduras longitudinales, la fuerza cortante  $V$ , generada bajo carga mayorada, no debe sobrepasar la resistencia de diseño a fuerza cortante  $V_{RS}$  en cualquiera de tales soldaduras.  $V_{RS}$  está dado por:

$$V_{RS} = \phi \frac{k_z p_{vw} I t}{A_e \bar{y}} \quad (\text{F.7-93})$$

donde

- $I$  = segundo momento del área de la sección bruta
- $A_e \bar{y}$  = primer momento del área bruta excluida por fuera de la soldadura
- $A_e$  = área de la sección
- $\bar{y}$  = distancia del centroide del eje neutro hasta esta área
- $k_z, p_{vw}, \gamma_m$  = de acuerdo con su definición en los literales (a) y (c) de F.7.5.4.2

#### F.7.5.4.3 - Vigas rigidizadas longitudinal y transversalmente

**(a) Resistencia a momento** - El procedimiento para determinar la resistencia a momento es básicamente el mismo que para vigas con rigidizadores transversales únicamente e involucra una revisión por fluencia y una revisión por pandeo. La revisión por fluencia se realiza de acuerdo con el literal (a) de F.7.5.4.1.

Para hacer la revisión por pandeo (véase el literal (b) de F.7.5.4.1) se supone que cada rigidizador longitudinal brinda una línea de apoyo al alma subdividiéndola en sub-paneles separados desde el punto de vista de pandeo local. Para determinar la sección efectiva de la viga se pueden usar valores mejorados de  $k_t$  para los sub-paneles que se obtienen tomando el ancho y el patrón de esfuerzo correcto para cada sub-panel para determinar su valor de  $\beta$ .

**(b) Resistencia a cortante** - Las revisiones por fluencia (véase el literal (a) de F.7.5.4.2) y por zona afectada por el calor (véase el literal (d) de F.7.5.4.2) no se afectan por la presencia de rigidizadores longitudinales.

La revisión por pandeo se debe llevar a cabo, generalmente, de acuerdo con el literal (b) de F.7.5.4.2, pero  $v_1$  y  $v_{1r}$  se determinan como se indica a continuación:

- el valor de  $v_1$  se determina en la figura F.7.5.4 tomando  $d$  igual a la altura del mayor sub-panel (en lugar de la altura total del alma)
- el valor de  $v_{1r}$  se calcula usando la ecuación apropiada F.7-91 o F.7-92 en el literal (c) de F.7.5.4.2, con los factores  $v_2, v_3$  y  $m$  obtenidos así:

El valor de  $m$  se toma como el menor de  $m_1$  y  $m_2$

Los valores  $v_2, v_3$  y  $m_1$  se calculan usando las fórmulas del apéndice F.7-1 que se relacionan con las figuras F.7.5.5 a F.7.5.7, respectivamente, tomando  $d$  como la altura total tal como se define en el literal (b) de F.7.5.4.2 y  $v_1$  como el valor encontrado de acuerdo con lo anterior. Las figuras F.7.5.5 a F.7.5.7 no deben usarse para paneles de alma con rigidizadores longitudinales.

El valor de  $m_2$  se calcula como en el literal (c) de F.7.5.4.2 tomando un  $d$  tal como se define en el literal (b) del mismo numeral.

**F.7.5.4.4 - Rigidizadores de alma y platinas de encaje** - Se consideran los siguientes tipos de rigidizador de alma (véase la figura F.7.5.3). Pueden estar colocados a uno a ambos lados.

- **tipo A, rigidizador intermedio:** rigidizador transversal diferente de los cubiertos por el tipo B
- **tipo B, rigidizador de apoyo:** rigidizador transversal localizado en el punto de aplicación una carga concentrada o reacción
- **tipo C, rigidizador longitudinal:** rigidizador atravesado longitudinalmente entre rigidizadores transversales

Para que las resistencias proyectadas se logren, es generalmente necesario que los rigidizadores de alma cumplan con lo siguiente:

- tipos A, B, C: compacidad (véase el literal (a) de F.7.5.4.4)
- tipos A, B, C: rigidez (véase el literal (c) de F.7.5.4.4)
- tipos A, B únicamente: estabilidad (véase el literal (d) de F.7.5.4.4)

Un rigidizador transversal debe extenderse sin interrupciones de aleta a aleta aún cuando se coloquen platinas de encaje. Cuando se coloca un rigidizador de apoyo se debe cuidar que la aleta transfiera la fuerza aplicada al rigidizador. No es esencial que el rigidizador esté conectado a las aletas.

Mientras sea posible, los rigidizadores longitudinales deben ser continuos desde un vano de la viga hasta el siguiente. Cuando ésto no sea posible, las longitudes separadas deben colindar con el rigidizador transversal que las divide.

**(a) Compacidad** - Todos los rigidizadores deben ser de sección compacta en términos de resistencia a compresión axial (véase el literal (c) de F.7.4.3.3).

**(b) Sección efectiva de rigidizador** - La sección efectiva de rigidizador se usa en la revisión de los requisitos de rigidez y estabilidad. Consiste del rigidizador, o par de rigidizadores si están a ambos lados, real en conjunto con un ancho efectivo de lámina de alma,  $b_e$  (véase la figura F.7.5.8). Este ancho efectivo se extiende una distancia  $b_1$  a cada lado del punto o puntos de fijación del rigidizador como se muestra, y está dado generalmente por:

- **Para un rigidizador transversal**  
 $b_1 = \text{el menor de } 0.13 a \text{ y } 15\epsilon t$

Para un rigidizador transversal localizado en el extremo de una viga, el valor de  $b_1$  en el lado exterior (únicamente) debe tomarse como se indica a continuación en lugar del valor anterior:

$$b_1 = \text{el menor de } a_0 \text{ y } 7\epsilon t$$

donde  $a_0$  es la distancia desde el rigidizador hasta el borde libre de la lámina del alma.

- **Para un rigidizador longitudinal**  
 $b_1 = \text{el menor de } 0.13 d_{av} \text{ y } 15\epsilon t$

donde

$$\epsilon = (15 / p_v)^{1/2} \quad (\text{F.7-94})$$

$p_v$  = esfuerzo limite del material del alma (véanse las tablas F.7.4.1 y F.7.4.2)

$d_{av}$  = altura promedio de los dos sub-paneles situados a cada lado del rigidizador longitudinal

**(c) Rigidez** - Para las proporciones de panel dadas, el segundo momento del área  $I$ , de la sección completa de rigidizador efectivo (véase el literal (b) de F.7.5.4.4) respecto al eje centroidal paralelo al alma, debe satisfacer lo siguiente:

- Para un rigidizador transversal

$$\frac{a}{d} \leq 2.5 \qquad I_s \geq dt^3(2d/a - 0.7) \qquad (F.7-95)$$

- Para un rigidizador longitudinal

$$\frac{d_{av}}{a} \leq 2.5 \qquad I_s \geq at^3(2a/d_{av} - 0.7) \qquad (F.7-96)$$

La condición de rigidez puede obviarse cuando las proporciones del panel están por fuera del rango indicado

**(d) Estabilidad (Rigidizadores transversales únicamente)** - La sección efectiva de rigidizador (véase el literal (b) de F.7.5.4.4) se considera como un miembro a compresión que soporta una carga P, bajo carga mayorada, dada por:

- Para un rigidizador intermedio

$$P = \frac{V}{3} \qquad (F.7-97)$$

- Para un rigidizador de apoyo

$$P = P_1 + \frac{V}{3} \qquad (F.7-98)$$

donde

V = valor promedio de la fuerza cortante generada en los paneles del alma a cada lado del rigidizador considerado

P<sub>1</sub> = carga concentrada o reacción que actúa en el rigidizador

El valor de P no debe exceder la resistencia axial de diseño del miembro a compresión, determinada de acuerdo con F.7.4.7 tomando en cuenta el pandeo como columna (fuera del plano del alma) y el aplastamiento local pero ignorando el pandeo torsional. Para considerar el pandeo como columna se debe tomar una longitud efectiva de miembro a compresión l de acuerdo con:

$$\text{para } \frac{a}{d} \geq 1.5 \qquad l = d \qquad (F.7-99)$$

$$\text{para } \frac{a}{d} < 1.5 \qquad l = \frac{d}{[1.6 - (0.4a/d)]^{1/2}} \qquad (F.7-100)$$

Cuando la dimensión a del panel es diferente en los lados opuestos de un rigidizador, se debe tomar un valor promedio para ella en las expresiones F.7-99 y F.7-100. Para cualquier rigidizador extremo, l = d

Es importante tener en cuenta los efectos de flexión que se introducen si hay excentricidad entre la línea de acción de P y el eje centroidal de la sección efectiva. Esto puede ser hecho usando las fórmulas de interacción dadas en F.7.4.8.3 y F.7.4.8.4 (c), donde M<sub>y</sub> es el momento debido a la acción y M<sub>x</sub> = 0. Tal excentricidad ocurre especialmente cuando se usan rigidizadores a un solo lado.

**(e) Postes extremos requeridos para resistir el campo tensionado** - Cuando se determina la resistencia a fuerza cortante de un tramo extremo de una viga ensamblada, sólo se permite tomar ventaja de la acción de campo tensionado si se suministra un poste adecuado en el extremo exterior del panel del alma. Este debe diseñarse para cumplir con las siguientes dos funciones: la interacción entre los dos efectos puede ignorarse

- Actuar como un rigidizador de apoyo resistiendo la reacción en el apoyo de la viga
- Actuar como una viga corta uniendo las aletas de la viga y resistiendo el campo tensionado en el plano del alma

Un poste de extremo puede tener cualquiera de las siguientes formas y, en cada caso, debe estar seguramente conectado a ambas aletas de la viga.

- Puede contar de dos rigidizadores transversales de doble lado que forman las aletas de una viga corta, conjuntamente con una tira de lámina del alma entre ellos. Uno de los rigidizadores transversales debe estar localizado apropiadamente para que cumpla el papel de soporte
- Puede ser en la forma de material insertado conectado al extremo de la lámina del alma

Para llevar a cabo la segunda función, el poste de extremo tiene que resistir una fuerza cortante  $V_{ep}$ , conjuntamente con un momento  $M_{ep}$ , actuando en el plano de la lámina del alma (bajo carga mayorada), dados por las siguientes expresiones.

$$V_{ep} = 0.6 p_v d t \left[ 1 - v_1 \left( \frac{q / (P_v - v_1)}{v_2} \right) \right]^{1/2} \quad (F.7-101)$$

$$M_{ep} = 0.1 d V_{ep} \quad (F.7-102)$$

donde

- $q$  = esfuerzo cortante promedio generado en el panel extremo del alma bajo carga mayorada, basado en el espesor reducido
- $p_v$  = esfuerzo límite del material del alma (véanse las tablas F 7.4 1 y F.7.4 2)
- $v_1$  y  $v_2$  = coeficientes relacionados con los paneles extremos, encontrados en las figuras F.7.5.4 y F.7.5.5 ó en F 7 5.4 3 (si es longitudinalmente rigidizada)

Para calcular  $q$  se permite suponer que parte de la fuerza cortante sobre la viga es soportada por las platinas de encaje, si las hay.

**(f) Postes extremos requeridos para resistir torsión** - Si un poste de extremo es el único medio de suministro de resistencia contra el retorcimiento en el extremo de una viga, se debe cumplir lo siguiente.

$$I_{ep} \geq \frac{d^3 t_r R}{250 W} \quad (F.7-103)$$

donde

- $I_{ep}$  = segundo momento del área de la sección del poste extremo respecto a la línea central del alma
- $d$  = altura del alma medida entre aletas o hasta los extremos de la platina de encaje
- $t_r$  = espesor de la aleta (tomado como el valor máximo cuando el espesor varía a lo largo de la viga)
- $R$  = reacción en el extremo de la viga considerado, bajo carga mayorada
- $W$  = carga total mayorada sobre la luz adyacente

**(g) Platinas de encaje** - Una platina de encaje consiste de material que se extiende hacia adentro desde una aleta para formar una parte engrosada hacia el alma. Para ser efectiva, sus dimensiones deben ser tales que sea compacta cuando se considere como una saliente plana en compresión axial (véase F 7.4.3 3)

Cuando una platina de encaje está construida en dos o tres capas, consistiendo de la lámina del alma conectada a un elemento, o elementos, integral con la aleta, el espesor  $t$  requerido para revisar su compacidad puede tomarse como el espesor total. Sin embargo, si la construcción es remachada o pernada, es también necesario revisar que cualquier saliente más allá de la última línea de remaches o pernos sea, por sí sola, compacta

**F.7.5.4.5 - Uso de almas corrugadas o frecuentemente rigidizadas** - Las vigas que tienen refuerzo transversal del alma en forma de corrugaciones o de rigidizadores poco espaciados, con una separación de menos de 0.3 veces la altura entre aletas, se describen en los literales (a) y (b) siguientes

Este refuerzo transversal se trata como subcrítico de modo que puede deformarse con el alma en el modo de pandeo general y, por lo tanto, no necesariamente satisface los literales (c) y (d) de F.7.5.4.4.

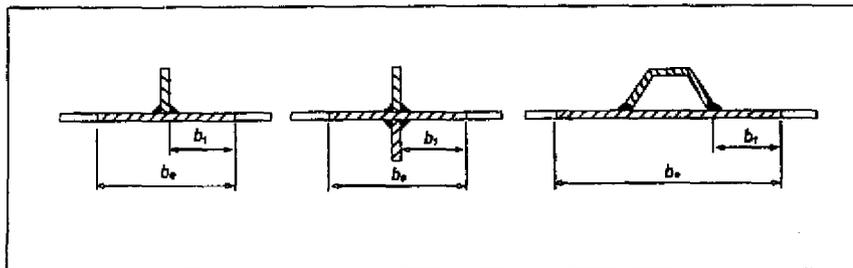
(a) **Resistencia a momento** - Cuando el alma consiste de una lámina plana con rigidizadores fijados, la resistencia a momento debe encontrarse según F.7.5.4.1. Pero con un alma corrugada debe suponerse que la contribución del alma es cero y la resistencia a momento es suministrada únicamente por las aletas.

(b) **Resistencia a fuerza cortante** - La resistencia de diseño a fuerza cortante  $V_{RS}$  debe determinarse como se indica en F.7.5.3.4 para láminas multi-rigidizadas a cortante.

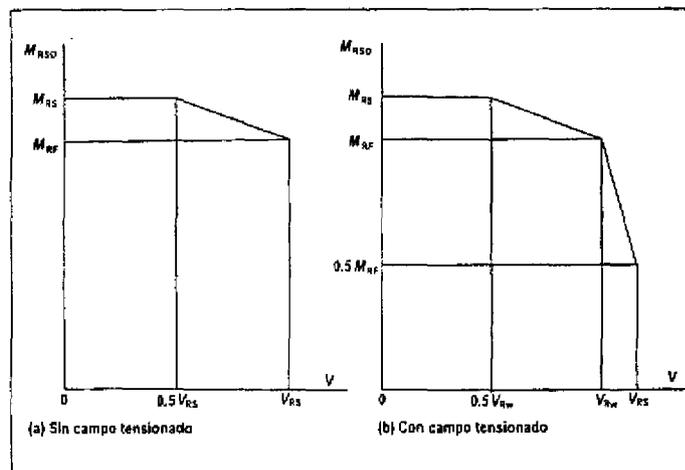
**F.7.5.4.6 - Vigas sujetas a momento y cortante combinados** - Las figuras F.7.5.9 (a) y (b) muestran esquemáticamente la forma del diagrama de interacción momento-cortante para vigas ensambladas cubriendo:

- vanos incapaces de sostener un campo tensionado
- vanos con acción de campo tensionado

Tales diagramas pueden construirse para cualquier vano dado entre rigidizadores transversales para determinar la resistencia de diseño a momento  $M_{RSD}$ , en presencia de una fuerza cortante coincidente  $V$  (generada bajo carga mayorada). La notación es la siguiente:



**Figura F.7.5.8**  
Sección efectiva de rigidizador



**Figura F.7.5.9**  
Diagramas de interacción esquemáticos para vigas ensambladas

- $M_{RS}$  = resistencia de diseño a momento en ausencia de cortante (véanse F.7.5.4.1 y el literal (b) de F.7.5.4.3)
- $M_{RF}$  = valor reducido de  $M_{RS}$  para las aletas por si solas, omitiendo el alma
- $V_{RS}$  = resistencia de diseño a fuerza cortante (véanse F.7.5.4.2 y F.7.5.4.3)
- $V_{RW}$  = valor reducido de  $V_{RS}$  obtenido haciendo  $m = 0$

## F.7.6 - DISEÑO ESTÁTICO DE UNIONES

**F.7.6.1 - GENERALIDADES** - En esta sección se trata el diseño de uniones mediante sujetadores, adhesivos o soldadura. Se discuten los siguientes tipos de sujetador: remaches, pernos negros, pernos de precisión, pernos de alta resistencia para trabajo por fricción, conectores especiales y pasadores. Se define la resistencia de diseño de uniones soldadas con soldadura a tope o de filete. El diseño de uniones entre elementos colados o forjados se debe hacer conjuntamente con el fabricante.

Los siguientes tipos de conexión se denominan uniones:

- (a) conexiones entre miembros estructurales, por ejemplo, viga a columna
- (b) conexiones entre elementos de un miembro ensamblado, por ejemplo, almas a aletas, empalmes
- (c) conexiones entre detalles localizados y miembros estructurales, por ejemplo, ménsula a viga, anillos y abrazaderas de miembros a tensión

Todos los tipos de conexión deben diseñarse para cumplir con los estados límite de resistencia y fatiga. No se requiere revisión para estados límite de servicio, excepto para uniones con pasadores en estructuras que son frecuentemente armadas y desarmadas, para uniones en las que las deflexiones son críticas o en uniones con pernos a fricción en las que se debe evitar el deslizamiento. La carga mayorada sobre una unión debe calcularse usando los coeficientes de carga dados en F.7.3. Los sujetadores sometidos a inversión de cargas deben ser pernos de precisión o pernos de barril giratorio, remaches sólidos, pernos de alta resistencia a fricción, o conectores especiales que impidan el movimiento.

Los remaches huecos y otros conectores especiales, pueden usarse siempre que su comportamiento haya sido satisfactoriamente demostrado mediante ensayos u otros medios. En su diseño y espaciamiento debe haber cooperación entre el diseñador y el fabricante. Se debe demostrar previamente, mediante ensayos u otros medios, el comportamiento del material insertado roscado para sujetadores de acero que deban ser usados en cualquier elemento roscado de aluminio en una unión desmontable.

**F.7.6.2 - UNIONES REMACHADAS Y EMPERNADAS: CONSIDERACIONES DE DISEÑO** - Las uniones usando remaches o pernos deben ser diseñadas de modo que, bajo carga mayorada, la acción de carga en cualquier posición de sujetador no exceda la resistencia de diseño del sujetador allí localizado.

**F.7.6.2.1 - Grupos de sujetadores** - Los grupos de remaches, pernos o conectores especiales, conocidos colectivamente como "sujetadores", que forman una conexión, deben diseñarse sobre la base de una suposición realista de la distribución de las fuerzas internas, observando la rigidez relativa. Es esencial que se mantenga el equilibrio con las cargas externas mayoradas.

**F.7.6.2.2 - Efecto de las áreas de sección transversal en capas sucesivas** - El diseño de las capas sucesivas en secciones que contienen agujeros para sujetadores debe basarse en las áreas netas mínimas, excepto para remaches a compresión. En ciertas uniones empernadas a fricción, el estado límite es determinado por la capacidad a fricción de la unión y, en estas circunstancias, el diseño debe basarse en las áreas brutas mínimas.

**F.7.6.2.3 - Uniones largas** - Cuando la longitud de una unión, medida entre centros de sujetadores finales, es más de  $15 d_r$  (donde  $d_r$  es el diámetro nominal del sujetador), o cuando el número de sujetadores en esta dirección es mayor de cinco, el diseñador debe tomar en cuenta la reducción en la resistencia promedio de los sujetadores individuales debida a una distribución irregular de la carga entre ellos.

### F.7.6.3 - UNIONES REMACHADAS Y EMPERNADAS: CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS Y OTRAS CONSIDERACIONES GENERALES

**F.7.6.3.1 - Espaciamiento mínimo** - El espaciamiento entre centros de pernos y remaches no debe ser menor que 2.5 veces el diámetro del perno o remache. Para los pernos de alta resistencia a fricción se permite