

$$M_u = M_{us} + \frac{\beta_o - \beta}{\beta - \beta_{1o}} (M_{uf} - M_{us})$$

donde

M_{us} = momento correspondiente al patrón de esfuerzos adoptado (véase F 7 D.2.1)

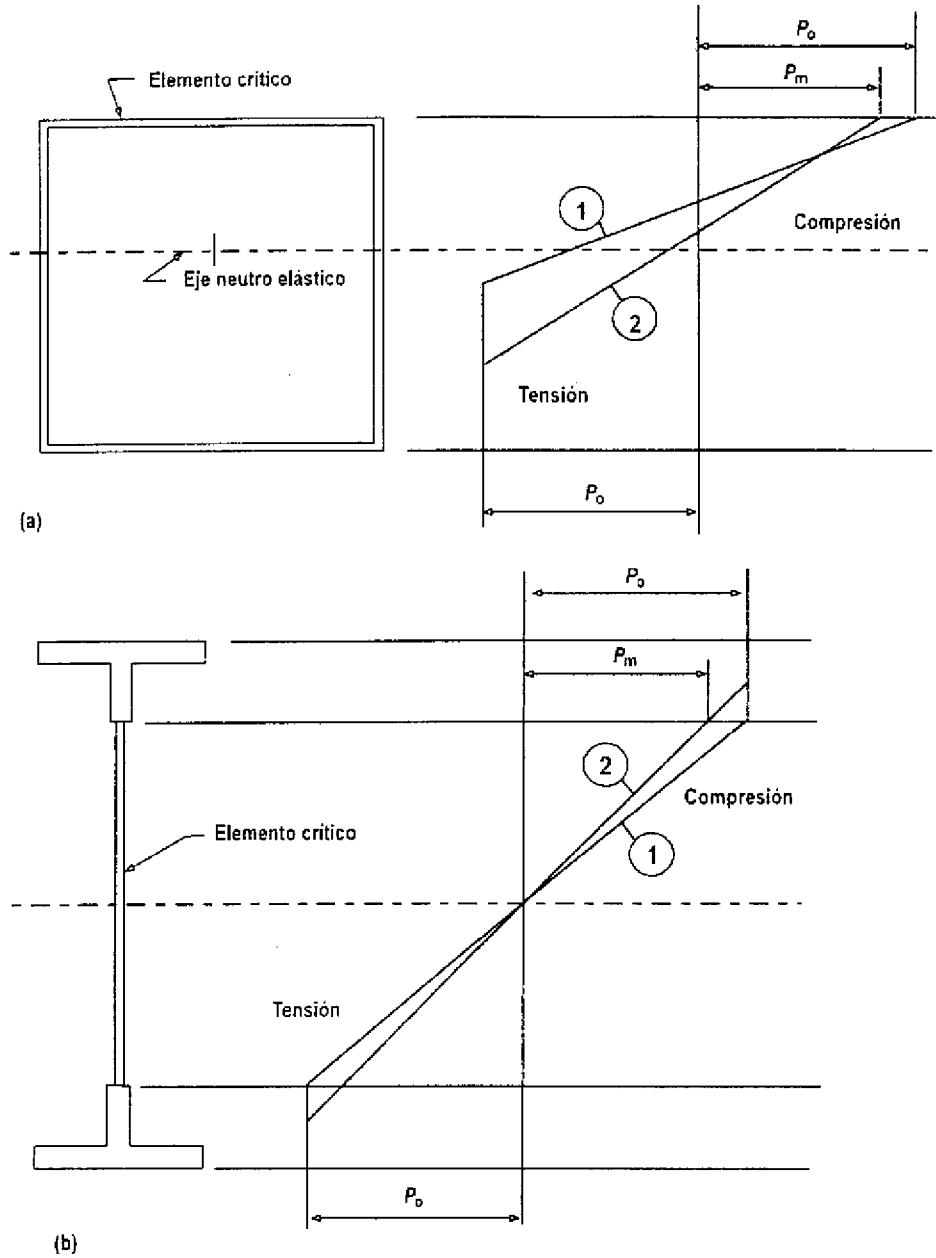
M_{uf} = $S p_o$

S = módulo plástico de la sección

β = valor de β para el elemento crítico

β_1, β_o = valores límite de β totalmente compacto y semi-compacto para ese elemento (véase la tabla F 7.4 3)

Las limitaciones en la expansión de la plasticidad desde la cara de compresión de la sección, contenidas en F 7 D 2 1 (reglas (g) y (h)), se relacionan con la determinación de M_{us} . Cuando el momento último M_u actúa, generalmente habrá una expansión incrementada de la plasticidad



Línea 1: elemento crítico semi-compacto
 Línea 2: elemento crítico esbelto

Figura F.7.D-1
Patrones de esfuerzo elasto-plástico supuestos (no híbridas)

APENDICE F.7.E REGIONES AFECTADAS POR EL CALOR ADYACENTES A SOLDADURAS

F.7.E.1 - INTRODUCCION

F.7.E.1.1 - GENERALIDADES - Los métodos dados en F.7.4.4 para estimar la severidad y extensión del ablandamiento en la zona afectada por el calor adyacente a soldaduras tiende a ser algunas veces pesimista. Este apéndice da tratamientos alternos para tales casos, que producen valores más favorables de k_z (severidad, véase F.7.E.2) y z (extensión, véase F.7.E.3)

En F.7.E.4 se consideran los posibles beneficios del envejecimiento artificial posterior a la soldadura.

Como alternativa del calculo se permite encontrar la extensión de la región afectada por el calor experimentalmente mediante mediciones de dureza. En F.7.E.5 se dan pautas para hacerlo.

F.7.E.1.2 - CONTROL TERMICO - La extensión del ablandamiento en la zona afectada por el calor, y algunas veces su severidad, depende de la temperatura entre pasadas T_0 , esto es, la temperatura del material parenteral adyacente al comienzo de la colocación de una pasada de soldadura cualquiera. Los siguientes factores tienden a elevar T_0

- (a) colocación de pasadas previas en una unión con pasadas múltiples
- (b) soldadura previa en una unión cercana
- (c) uso de precalentamiento

Un excesivo aumento de temperatura puede prevenirse haciendo control térmico durante la fabricación, esto quiere decir, dejando enfriar el metal adecuadamente entre pasadas. Los métodos dados en F.7.4.4.2 y F.7.4.4.3 para estimar los efectos en la zona afectada por el calor son válidos si el control térmico satisface:

- (a) Aleaciones de la serie 7*** $T_0 \leq 80^\circ \text{C}$
- (b) Otras aleaciones $T_0 \leq 100^\circ \text{C}$

A menudo es posible reducir la extensión del ablandamiento en la zona afectada por el calor, y algunas veces su severidad, ejerciendo un control termico aún mas estricto, es decir, especificando un valor menor de T_0 . Para aprovechar esta mejoría, el diseñador debe especificar cual será el control más estricto a usar y dar el valor reducido al que se limitará T_0 . Cuando se adopte esta practica, se pueden usar reglas más favorables para la región afectada por el calor dadas en F.7.E.2.3, F.7.E.3.3 y F.7.E.3.4

F.7.E.2 - COEFICIENTE DE ABLANDAMIENTO k_z

F.7.E.2.1 - VALORES MODIFICADOS DE k_z - Cuando la resistencia está gobernada por p_a o p_v , en vez de p_o , se permite tomar un valor modificado de k'_z para el coeficiente de ablandamiento, como se da en la tabla F.7.E.1, en lugar del valor normal de k_z dado en la tabla F.7.4.5. Esto se aplica para lo siguiente:

- (a) cortante en vigas (véase F.7.4.5.3)
- (b) falla local en miembros a tensión (véase F.7.4.6.1 (b))
- (c) aplastamiento local en miembros a compresión (véase F.7.4.7.6)

El uso del valor modificado k'_z en estos casos, es favorable para la mayoría de los materiales (pero no todos)

F.7.E.2.2 - VALOR DE k_z PARA OTROS MATERIALES - El coeficiente de ablandamiento (k_z o k'_z) para materiales no cubiertos por las tablas F.7.4.5 y F.7.E.1, puede encontrarse usando la tabla F.7.E.2.

F.7.E.2.3 - MATERIAL DE LA SERIE 7*** - Para las soldaduras en tales aleaciones que están sometidas a esfuerzo de tensión actuando en forma transversal al eje de la soldadura, el coeficiente de ablandamiento ($k_z = k'_z$) debe tomarse como el valor A. El valor de B puede usarse para otras condiciones de esfuerzo.

El valor A debe normalmente tomarse de la tabla apropiada (tabla F.7.4.5 o F.7.E.1). Sin embargo, se permite usar un valor más favorable en los siguientes casos:

(a) Caso 1 Soldadura aislada recta con una sola pasada sin precalentamiento: El valor A puede tomarse igual al valor B, es decir, 1.0 para la condición T4 y 0.8 para la condición T6.

(b) Caso 2 Otras soldaduras con control térmico más estricto. El valor A se puede tomar como sigue:

(1) para $40^\circ\text{C} < T_p \leq 80^\circ\text{C}$

para condición T4 $1.2 - 0.005T_p$
 para condición T6 $1.0 - 0.05T_p$

(2) para $T_p \leq 40^\circ\text{C}$

para condición T4 1.0
 para condición T6 0.8

donde

T_p = temperatura entre pasadas, a ser especificada en el contrato

F.7.E.3 - EXTENSION DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR

F.7.E.3.1 - GENERALIDADES - Los métodos dados en F.7.4.4.3 para obtener la dimensión z pueden conducir a sobrestimar de extensión de la zona afectada por el calor. Los siguientes artículos dan tratamientos alternos que pueden usarse para obtener estimativos más favorables en ciertos casos.

F.7.E.3.2 - FORMULA MODIFICADA PARA z - Se permite usar la siguiente expresión para z , en lugar de la dada en el literal (b) de F.7.4.4.3.

$$z = \delta \alpha \eta z_0$$

donde

α y η = coeficientes modificadores (véanse los literales (d) y (e) de F.7.4.4.3)

z_0 = valor básico de z

El factor extra δ se toma normalmente como 1.0, pero en los siguientes casos (a) y (b) se permite un valor menor:

(a) Para una unión para la que existen tres o más caminos de temperatura válidos

$$\delta = 0.75$$

Un camino de temperatura válido es el definido en el literal (e) de F.7.4.4.3

(b) Para una unión recta de longitud L menor que $5z_0$:

$$\delta = \frac{(1.5 + 1.3L/z_0)}{(3 + L/z_0)}$$

Cuando una unión cabe en ambas categorías, el valor de δ debe ser tomado como el menor de los valores dados en (a) y (b).

F.7.E.3.3 - DETERMINACION ALTERNATIVA DE α - Se permite tomar un valor menor de α en los casos Q y R de la tabla F.7.4.6 para una unión en la que se aplique (a) o (b):

(a) Control térmico normal: t_c no excede 25 mm y el área total A (en mm²) de los depósitos de soldadura en la unión es conocida:

$A \leq 5$	$\alpha = 1.0$
$50 < A \leq 150$	$\alpha = 0.75 + 0.005A$
$A > 150$	$\alpha = 1.5$

(b) Control térmico más estricto:

	$t_c \leq 25 \text{ mm}$	$t_c > 25 \text{ mm}$
$0.5T_0 \leq T_0 < T_1$	$\alpha = 0.5 + T_0 / T_1$	$\alpha = 2T_0 / T_1$
$T_0 \leq 0.5T_1$	$\alpha = 1.0$	$\alpha = 1.0$

donde

- T_0 = temperatura entre pasadas reducida (a ser especificada)
- T_1 = temperatura entre pasadas normal
- = 80°C para aleaciones de la serie 7***
- = 100°C para otras aleaciones
- t_c = espesor de la parte más gruesa unida

F.7.E.3.4 - DETERMINACION ALTERNATIVA de η - Cuando se especifica un control térmico más estricto, se permite leer η en la figura F.7 E 1 en lugar de usar el literal (e) de F.7.4.4.3. Las cantidades necesarias para la figura se deben tomar como se indica enseguida:

- (a) T_0 , T_1 y t_c de acuerdo con F.7 E 3.3
- (b) h y h_1 de acuerdo con el literal (e) de F.7.4.4.3
- (c) Σ indica la sumatoria de todos los caminos de temperatura de la unión

Cuando $t_c > 25 \text{ mm}$ y se usa precalentamiento, no se permite ninguna mejoría de η . En tales casos se debe usar el valor total de $\eta = 1.33$

F.7.E.4 - ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL POSTERIOR A LA SOLDADURA

Con aleaciones tratadas en caliente de las series 6*** y 7*** es algunas veces benéfico aplicar un tratamiento térmico en la forma de envejecimiento artificial después de la soldadura. Esto implica calentar el componente soldado a una temperatura entre 100°C y 180°C durante un tiempo de hasta 24h. El procedimiento exacto depende de la aleación. Los siguientes beneficios pueden lograrse con tal tratamiento.

- (a) El tiempo para alcanzar propiedades mecánicas estables se reduce a un valor por debajo del indicado en el literal (c) de F.7.4.4.2
- (b) La resistencia de partes de la zona afectada por el calor (pero no necesariamente de toda) se eleva. En el diseño puede suponerse esto para reducir efectivamente la extensión de la zona afectada por el calor.
- (c) Hay alguna mejoría en la resistencia del metal de aporte.

Para cuantificar estos beneficios es necesario hacer ensayos usando especímenes representativos (véase F.7.E.5). Se debe simular la situación real en términos de: espesor de metal, geometría, metal de aporte y parámetros de soldadura, así como el tratamiento exacto post-soldadura empleado.

F.7.E.5 - MEDICIONES DE DUREZA

F.7.E.5.1 - GENERALIDADES - Se permite determinar la extensión de la zona afectada por el calor experimentalmente (véase el literal (g) de F.7.4.4.3). El método más usual es conducir una medición de dureza.

F.7.E.5.2 - METODO EXPERIMENTAL - El método preferido es el que emplea la técnica Vickers Diamond. Se puede aplicar a cualquier prototipo o fabricación de prueba representando parte de la estructura. El procedimiento consiste en tomar una serie de lecturas de dureza a varias distancias de la soldadura y luego determinar en qué punto las propiedades del material parenteral se han recuperado. Preferiblemente, el espécimen debe ser seccionado perpendicularmente a la soldadura y las lecturas deben tomarse a medio espesor sobre la cara cortada (después de la preparación adecuada de la superficie). Sin embargo, puede ser posible tomar las lecturas directamente sobre la superficie del componente.

F.7.E.5.3 - METODO DE INTERPRETACION 1 - Hay dos métodos permitidos para interpretar los resultados de los cuales el método 1 es preferible.

Un gráfico de dureza típico tiene la forma mostrada en la figura F.7.E.2. Sobre él se pueden distinguir dos puntos A y B tal como se muestra. La dimensión z , usada en el diseño para definir la distancia que se extiende la zona afectada por el calor desde la soldadura, debe tomarse como sigue:

$$z = 0.5(X_A + X_B)$$

donde

X_A y X_B = distancias de los puntos A y B a la línea central de una soldadura a tope o la raíz de una soldadura de filete

F.7.E.5.4 - METODO DE INTERPRETACION 2 - Puede ser usado si sólo se puede distinguir el punto B en el gráfico, es decir, el punto en el que la dureza del material parenteral se ha recuperado efectivamente. El punto A no se puede localizar con facilidad. En este caso, z debe tomarse como:

- (a) para aleaciones de la serie 5*** $z = 0.65X_B$
- (b) para aleaciones de la serie 6*** $z = 0.75X_B$
- (c) para aleaciones de la serie 7*** $z = 0.90X_B$

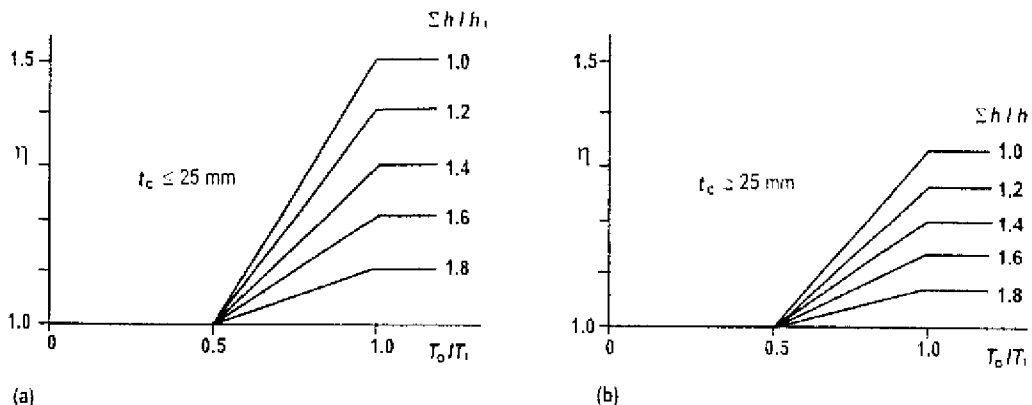


Figura F.7.E-1
Extensión de la zona afectada por el calor, factor η

Tabla F.7.E-1
Coefficiente de ablandamiento modificado k'_z de la zona afectada por el calor

Aleación	Condición	Producto	k'_z
Tratadas en caliente			
6061	T6, TF	E, DT	0.55
6063	T4	E	1.00
	T4	DT	0.70
	T4	F	0.80
	T5	E	0.75
	T6	E, F	0.55
	T6	DT	0.50
6082	T4	E, S, P, DT, F	1.00
	T6	E, S, P, DT, F	0.55
7020	T4	E, S, P	0,80(A), 1,00(B)
	T6	E, S, P	0,60(A), 0,80(B)
			(nota 2)
No tratadas en caliente			
1200	H14	S	0.25
3103	H14	S	0.30
	H18	S	0.24
3105	H14	S	0.28
	H16	S	0.24
	H18	S	0.21
5083	O, F	E, S, P, DT	1.00
	H22	S, P	0.55
5154A	O, F	E, S, P	1.00
	H22	S, P	0.50
	H24	S, P	0.40
5251	F	WT	0.30
	F	F	1.00
	H22	S, P	0.45
	H24	S, P	0.35
5454	O, F	E, S, P	1.00
	H22	S	0.45
	H24	S	0.40

NOTA 1. En la columna de producto E, S, P, DT, WT y F se refieren, respectivamente, a extrusión, lámina, plancha, tubería extruída, tubería soldada y forjados.

NOTA 2. Refiérase a F.7.4.4.2 (b) para ver la aplicabilidad de los valores A y B para el material 7020.

Tabla F.7.E-2
Determinación general de k_z y k'_z

Serie de la aleación	Condición	k_z (notas 1 y 2)	k'_z (notas 1 y 2)
Tratadas en caliente			
6***	O, F	1.00	1.00
	T4	1.00	1.00
	T5	0.75	0.75
	T6	0.50	0.55
	Otro (nota 3)	$0.50p_{06}/p_0$	$0.55p_{06}/p_0$
7***	O, F	1.00	1.00
	T4	0.80(A)	0.80(A)
		1.00(B)	1.00(B)
	T6	0.60(A)	0.60(A)
		0.80(B)	0.80(B)
Otro (nota 3)	$0.6p_{06}/p_0$ (A) $0.8p_{06}/p_0$ (B)	$0.6p_{06}/p_0$ (A) $0.8p_{06}/p_0$ (B)	
No tratadas en caliente			
1***, 3*** ó 5***	O, F	1.00	1.00
	Otro (nota 3)	p_{00}/p_0	p_{00}/p_0
NOTA 1. k_z es el valor normal. k'_z es un valor modificado para usar en ciertos casos (F.7.E.2). NOTA 2. Notación: p_0 y p_0 esfuerzos límite del material parenteral en la condición usada (tablas F.7.4.1 y F.7.4.2) p_{06} y p_{06} esfuerzos límite de los materiales parenterales en la condición T6 p_{00} y p_{00} esfuerzos límites de los materiales parenterales en la condición O NOTA 3. El valor tomado nunca debe exceder 1.0.			

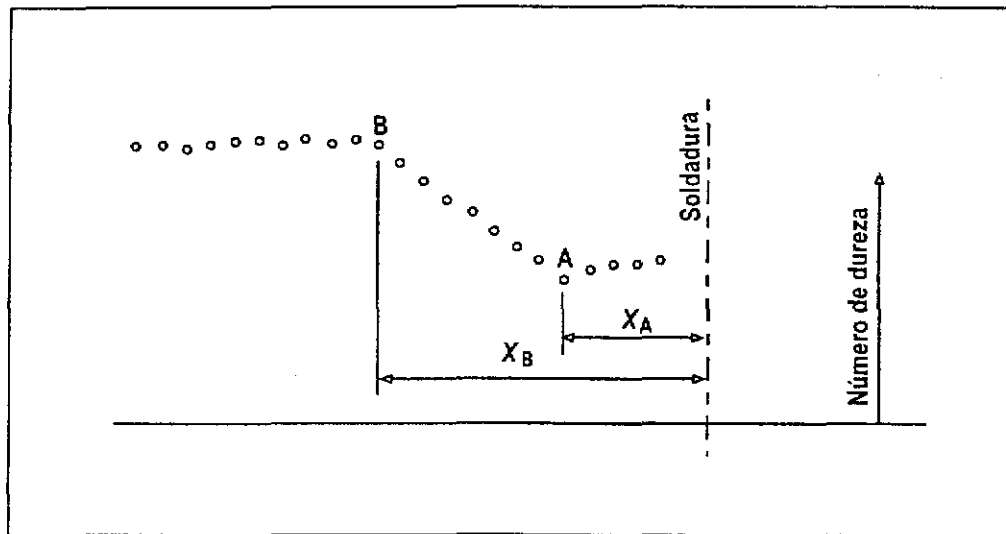


Figura F.7.E-2
Gráfica de dureza típica a lo largo de un camino de calor a partir de una soldadura

APENDICE F.7.F

FORMULAS GENERALES PARA LAS PROPIEDADES TORSIONALES DE SECCIONES ABIERTAS DE PARED DELGADA

F.7.F.1 - GENERALIDADES

Este apéndice muestra cómo determinar las propiedades de ciertas secciones, necesarias para cálculos de pandeo que involucren torsión (véase los apéndices F.7.G y F.7.H). Las propiedades de la sección son las siguientes:

- (a) constante de torsión, J (véase F.7.F.2)
- (b) segundo momento polar del área respecto al centro de cortante, I_p (véase F.7.F.3)
- (c) coeficiente de alabeo, H (véase F.7.F.4)

F.7.F.2 - CONSTANTE DE TORSION

La rigidez torsional de un miembro que tiene una sección transversal de pared delgada, está dada por el producto GJ en el que G es el módulo de cortante del material y J es la constante de torsión de la sección transversal. Para secciones abiertas de pared delgada sin variaciones pronunciadas de espesor, tales como rebordes o bulbos, J está dado por:

$$J = \int_0^S \frac{t^3 ds}{3}$$

donde

- t = espesor
- s = se mide a lo largo de la línea media del perfil
- S = longitud total de la línea media

Para una sección compuesta únicamente de elementos de lámina plana, cada uno de espesor uniforme, esta ecuación se reduce a la siguiente:

$$J = \frac{1}{3} \sum bt^3$$

donde b es el ancho de un elemento medido a medio espesor del perfil.

Cuando se tiene una sección reforzada con rebordes y/o bulbos, se puede usar la siguiente expresión:

$$J = \sum \left\{ (p + qN)t \right\}^4 + \frac{1}{3} \sum bt^3$$

donde

- t = espesor del material plano adyacente
- N = dimensión del reborde o bulbo, como se define en la figura F.7.F.1
- p y q = coeficientes leídos en la figura F.7.F.1

La primera sumatoria se extiende a cada región de reborde o bulbo dentro de la sección (véase la figura F.7.F.1).

Para hacer la segunda sumatoria para los elementos planos, el ancho de cualquier elemento que limita con un reborde o bulbo, debe ser ahora medido hasta el borde del área sombreada mostrada en la figura F.7.F.1.

F.7.F.3 - SEGUNDO MOMENTO POLAR DEL ÁREA RESPECTO AL CENTRO DE CORTANTE

El segundo momento polar del área respecto al centro de cortante I_p , está dado por la siguiente expresión:

$$I_p = I_x + I_y = Ag^2$$

donde

- I_x e I_y = segundo momento del área respecto a los ejes centroidales
- A = área de la sección
- g = distancia entre el centroide G y el centro de cortante S

La posición de S se puede encontrar de acuerdo con lo siguiente:

- (a) para secciones bisimétricas o con simetría oblicua, S coincide con G
- (b) para secciones compuestas enteramente de aletas salientes (tales como ángulos, secciones en T o cruciformes), S se ubica en el punto de intersección de los elementos componentes
- (c) para ciertos tipos específicos de sección, véase la figura F.7.F.2
- (d) para secciones monosimétricas compuestas de elementos planos, generalmente, véase F.7.F.5
- (e) para secciones asimétricas compuestas de elementos planos, generalmente, véase F.7.F.7

F.7.F.4 - COEFICIENTE DE ALABEO

El coeficiente de alabeo H puede encontrarse de acuerdo con lo siguiente.

- (a) para secciones compuestas enteramente de aletas salientes (tales como ángulos, secciones en T o cruciformes), conservadoramente se puede suponer H igual a cero
- (b) para ciertos tipos específicos de sección, véase la figura F.7.F.2
- (c) para secciones monosimétricas compuestas de elementos planos, véase F.7.F.5
- (d) para secciones con simetría oblicua compuestas de elementos planos, véase F.7.F.6
- (e) para secciones asimétricas compuestas de elementos planos, véase F.7.F.7

F.7.F.5 - SECCIONES MONOSIMÉTRICAS COMPUESTAS POR ELEMENTOS PLANOS

F.7.F.5.1 - NOTACION Y CONVENCION DE SIGNOS - La sección se descompone en $2V$ elementos planos, numerados de 1 a V a cada lado del eje de simetría AA , contando hacia afuera del punto B donde la sección transversal interseca AA (véase la figura F.7.F.3). La siguiente notación se relaciona con el R -ésimo elemento de la mitad superior de la sección

- b = ancho del elemento
- t = espesor del elemento
- a = distancia perpendicular desde el punto medio del elemento hasta AA
- c = ancho proyectado del elemento sobre un eje perpendicular a AA
- d = distancia perpendicular desde B hasta la línea central del elemento

$$P = \sum_2^R bd$$

La sumatoria para P abarca solamente la mitad de la sección por encima de AA. Empieza con el segundo elemento ya que no hay contribución del primer elemento (para el cual $d = 0$)

La convención de signos es la siguiente

- (a) a , b y t son siempre positivos
- (b) c es positivo si el elemento considerado en el sentido hacia B es convergente con AA y es negativo si es divergente
- (c) d se toma como positivo si el elemento producido en el sentido hacia B tiene a B a su izquierda, y negativo si B está a su derecha

F.7.F.5.2 - FORMULAS - La distancia e a la que se ubica el centro de corte a la izquierda de B está dada por:

$$e = \frac{1}{I_{AA}} \sum_2^V \left[bt \left\{ 2aP - bd \left(a - \frac{c}{6} \right) \right\} \right]$$

donde

I_{AA} = segundo momento del área de toda la sección respecto a AA

El coeficiente de alabeo, H , está dado por:

$$H = 2 \sum_2^V \left[\left\{ bt \left(P^2 - bdP + \frac{b^2 d^2}{3} \right) \right\} - e^2 I_{AA} \right]$$

Este tratamiento sólo cubre las secciones que pueden ser desarrolladas a partir de una sola lámina (posiblemente de espesor variable). Para secciones que se bifurcan es necesario consultar la literatura pertinente.

F.7.F.5.3 - CALCULO DEL ESPECIMEN - La tabla F.7.F.1 presenta el cálculo del espécimen para una sección monosimétrica. Los elementos tomados en consideración en este cálculo son los números dentro de triángulos en el diagrama de la tabla F.7.F.1.

F.7.F.6 - SECCION CON SIMETRIA OBLICUA COMPUESTA DE ELEMENTOS PLANOS

F.7.F.6.1 - NOTACION Y CONVENCION DE SIGNOS - La sección se descompone en $2V$ elementos planos, numerados de 1 a V sobre cada lado del punto de simetría G, contando hacia G (véase la figura F.7.F.4). La siguiente notación se refiere al R -ésimo elemento en la mitad superior de la sección.

- b = ancho del elemento
- t = espesor del elemento
- d = distancia perpendicular desde G a la línea central del elemento
- A = área de la sección total

$$P = \sum_2^R bd$$

La sumatoria P abarca la mitad de la sección solamente. Empieza con el segundo elemento ya que no hay contribución del primero (para el cual $d = 0$). La convención de signos es la siguiente:

(a) b y t son siempre positivos

(b) d se toma como positivo si es elemento producido en el sentido hacia G tiene a G a su izquierda, y negativo si G está a su derecha

F.7.F.6.2 - FORMULA - El coeficiente de alabeo, H , está dado por la siguiente expresión

$$H = 2 \sum_1^v \left[bt \left\{ (P + K)(P + K - bd) + \frac{b^2 d^2}{3} \right\} \right]$$

donde

$$K = -\frac{2}{A} \sum_2^v \left\{ bt \left(P - \frac{bd}{2} \right) \right\}$$

Este tratamiento sólo cubre una sección que pueda ser desarrollada a partir de una sola lámina (posiblemente de espesor variable). Para secciones que se bifurcan, consulte la literatura pertinente.

F.7.F.6.3 - CALCULO DEL ESPECIMEN - La tabla F.7.F.2 da el cálculo del especimen de una sección con simetría oblicua. Los elementos tomados en cuenta en este cálculo son los números entre triángulos en el diagrama de la tabla F.7.F.2.

F.7.F.7 - SECCION ASIMETRICA COMPUESTA DE ELEMENTOS PLANOS

F.7.F.7.1 - NOTACION Y CONVENCION DE SIGNOS - La sección se descompone en n elementos planos, numerados de 1 a n empezando por el extremo E de la sección (véase la figura F.7.F.5).

La siguiente notación se relaciona con el r -ésimo elemento.

- b = ancho del elemento
- t = espesor del elemento
- a_u y a_v = coordenadas del punto medio R del elemento con respecto a u , v (ejes principales de la sección)
- c_u y c_v = anchos proyectados del elemento sobre u y v respectivamente
- d = distancia perpendicular desde G (centroide de la sección)
- d' = distancia perpendicular desde S (centro de corte). U y V son las coordenadas de S

$$P = \sum_1^r bd$$

$$P' = \sum_1^r bd'$$

La convención de signos es la siguiente.

(a) b y t son siempre positivos

(b) a_u y a_v son las coordenadas reales de R , pueden ser positivas o negativas dependiendo del cuadrante en que se ubica R

(c) c_u y c_v son positivas si U (o V) se incrementa dentro del elemento en el sentido hacia afuera desde el anterior ($r-1$)-ésimo elemento, y negativo si U (o V) decrece

(d) d y d' son positivos si el elemento producido en el sentido hacia afuera desde el $(r-1)$ -ésimo elemento tiene un momento antihorario respecto a G (o S), y negativo si es en sentido horario.

F.7.F.7.2 - FORMULAS - Las coordenadas del centro de corte, S , están dadas por.

$$U = \frac{1}{I_{uu}} \sum_1^n \left[bt \left\{ a_v P - bd \left(\frac{a_v}{2} - \frac{c_v}{12} \right) \right\} \right]$$

$$V = \frac{1}{I_{vv}} \sum_1^n \left[bt \left\{ a_u P - bd \left(\frac{a_u}{2} - \frac{c_u}{12} \right) \right\} \right]$$

donde

I_{uu}, I_{vv} = segundo momento del área de la sección respecto a G_u y G_v

El coeficiente de alabeo, H , está dado por:

$$H = \sum_1^n \left[bt \left\{ (P' - K')(P' - K' - bd') + \frac{b^2 d'^2}{3} \right\} \right]$$

donde

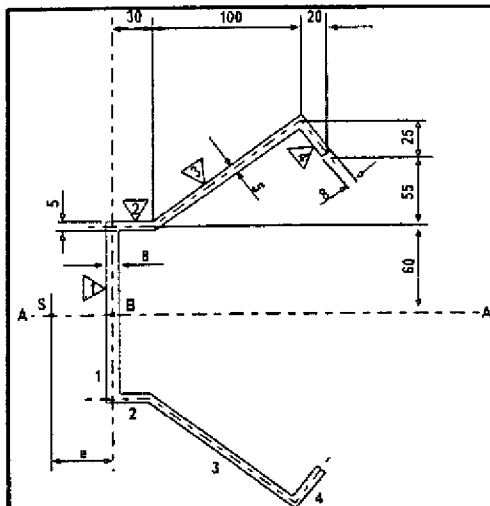
$$K' = \frac{1}{A} \sum_1^n bt \left(P' - \frac{bd'}{2} \right)$$

A es el área de la sección

Este tratamiento solamente cubre secciones que puedan ser desarrolladas a partir de una sola pieza de lámina (posiblemente de espesor variable). Para secciones con bifurcaciones, hay que consultar la literatura apropiada.

F.7.F.7.3 - CALCULO DEL ESPECIMEN - La tabla F.7.F.3 muestra el cálculo del espécimen de una sección asimétrica. Los elementos considerados en este cálculo son los números dentro de triángulos en el diagrama de la tabla F.7.F.3.

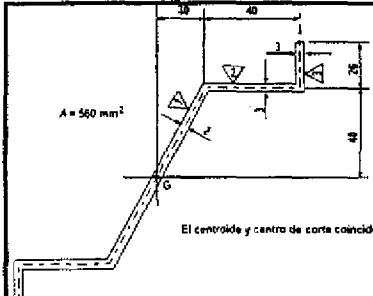
Tabla F.7.F-1
Cálculo del espécimen: forma monosimétrica



Todas las dimensiones están en milímetros

R =	2	3	4
b	30	128	32
t	5	5	8
a	60	100	127
c	0	80	-25
d	60	28	189
bd	1.80×10^3	3.58×10^3	6.05×10^3
P	1.80×10^3	5.40×10^3	1.14×10^4
2aP	2.16×10^5	1.08×10^6	2.90×10^6
bd(a - c/6)	1.08×10^5	3.10×10^5	7.94×10^5
2aP - bd(a - c/6)	1.08×10^5	7.70×10^5	2.11×10^6
bt{2aP - bd(a - c/6)}	1.62×10^7	4.93×10^8	5.40×10^8
Sumatoria de la última línea = $1.05 \times 10^9 \text{ mm}^5$			
I_{AA} (obtenido mediante cálculo no mostrado) = $2.35 \times 10^7 \text{ mm}^4$			
Posición del centro de corte $e = \frac{1.05 \times 10^9}{2.35 \times 10^7} = 45 \text{ mm}$			
P ²	3.24×10^6	2.92×10^7	1.30×10^8
bdP	3.24×10^6	1.93×10^7	6.90×10^7
b ² d ² /3	1.08×10^6	4.28×10^6	1.22×10^7
P ² - bdP + b ² d ² /3	1.08×10^6	1.42×10^7	7.32×10^7
bt(P ² - bdP + b ² d ² /3)	1.62×10^8	9.09×10^9	1.87×10^{10}
Sumatoria de la última línea = $2.80 \times 10^{10} \text{ mm}^6$			
Coeficiente de alabeo $H = (2 \times 2.80 \times 10^{10}) - (45 \times 1.05 \times 10^9) = 8.7 \times 10^9 \text{ mm}^6$			

Tabla F.7.F-2
Cálculo del espécimen: forma de simetría oblicua



El centroide y centro de corte coinciden con el punto de simetría G

Todas las dimensiones están en milímetros, a menos que se indique otra cosa

R =	1	2	3
b	50	40	20
t	2	3	3
d	0	40	-70
bd	0	1600	-1400
P	0	1600	200
bt(P - bd/2)	0	96000	54000
Sumatoria de la última línea = 150000 mm ⁴			
$K = \frac{-2 \times 150000}{560} = -535.7 \text{ mm}^2$			
(P + K)(P + K - bd)	287 x 10 ³	-570 x 10 ³	-357 x 10 ³
b ² d ² /3	0	853 x 10 ³	653 x 10 ³
b[(P+K)(P+K-bd) + (b ² d ² /3)]	28.7 x 10 ⁶	34.0 x 10 ⁶	17.8 x 10 ⁶
Sumatoria de la última línea = 80.5 x 10 ⁶ mm ⁶			
Coeficiente de alabeo H = (2 x 80.5 x 10 ⁶) = 161 x 10 ⁶ mm ⁶			

NSR-98 – Apéndice F.7.F – Fórmulas generales para las propiedades torsionales de secciones abiertas de pared delgada

**Tabla F.7.F-3
Cálculo del espécimen: forma asimétrica**

	$\bar{x} = 36.1$ $\bar{y} = 62.5$			
	$\alpha = 9.93^\circ$			
	$I_{uu} = 8.24 \times 10^4$			
	$I_{vv} = 1.22 \times 10^4$			
	$A = 1969 \text{ mm}^2$			
r_m	1	2	3	4
b	283	1131	80.0	80.0
t	60	60	40	100
d	-1000	37.9	36.1	62.5
a_u	149	-60	-316	14.6
a_v	-1116	-57.3	28.4	60.9
c_u	23.1	-650	138	788
c_v	16.2	92.6	78.8	-13.8
bd	-2828	4283	2886	5003
P	-2828	1455	4341	9344
$a_u P$	-42.1×10^3	-8.8×10^3	-137.4×10^3	137.8×10^3
$a_v P$	315.7×10^3	-83.3×10^3	123.4×10^3	569.3×10^3
$bd(a_u/2 - c_u/12)$	-15.6×10^3	10.2×10^3	-49.0×10^3	3.8×10^3
$bd(a_v/2 - c_v/12)$	161.7×10^3	-155.7×10^3	22.1×10^3	158.2×10^3
$bt(a_u P) - \{bd(a_u/2 - a_u/12)\}$	-4.5×10^6	-12.9×10^6	-28.3×10^6	106.4×10^6
$bt(a_v P) - \{bd(a_v/2 - a_v/12)\}$	26.1×10^6	-49.1×10^6	32.4×10^6	328.9×10^6
$U = -\frac{\sum [bt\{(a_v P) - [bd(a_v/2 - c_v/12)]\}]}{I_{uu}} = \frac{338.3}{8.24} = -41.1 \text{ mm}$				
$V = \frac{\sum [bt\{(a_u P) - [bd(a_u/2 - c_u/12)]\}]}{I_{vv}} = \frac{60.7}{1.22} = 49.8 \text{ mm}$				
$g = (U^2 + V^2)^{1/2} = 64.5 \text{ mm}$				
$I_p = I_{uu} + I_{vv} + Ag^2 = 17.67 \times 10^6 \text{ mm}^4$				
d'	-1643	328	-12.9	206
bd'	-4647	3717	-1036	1649
P'	-4647	-930	-1966	-317
$bt(P' - bd'/2)$	-0.394×10^6	-1.893×10^6	-0.463×10^6	-0.913×10^6
$K' = \frac{\sum [bt(P' - bd'/2)]}{A} = \frac{3.663 \times 10^6}{1969} = -1861 \text{ mm}^2$				
$(P' - K')(P' - K' - bd')$	-5.185×10^6	-2.594×10^6	-0.098×10^6	-0.913×10^6
$b^2 d'^2$	7.198×10^6	4.605×10^6	0.358×10^6	0.906×10^6
$bt\{(P' - K')(P' - K' - bd')\} + (b^2 d'^2)$	342×10^6	1365×10^6	83×10^6	595×10^6
$H = \text{sumatoria de la última línea} = 2.385 \times 10^9 \text{ mm}^6$				

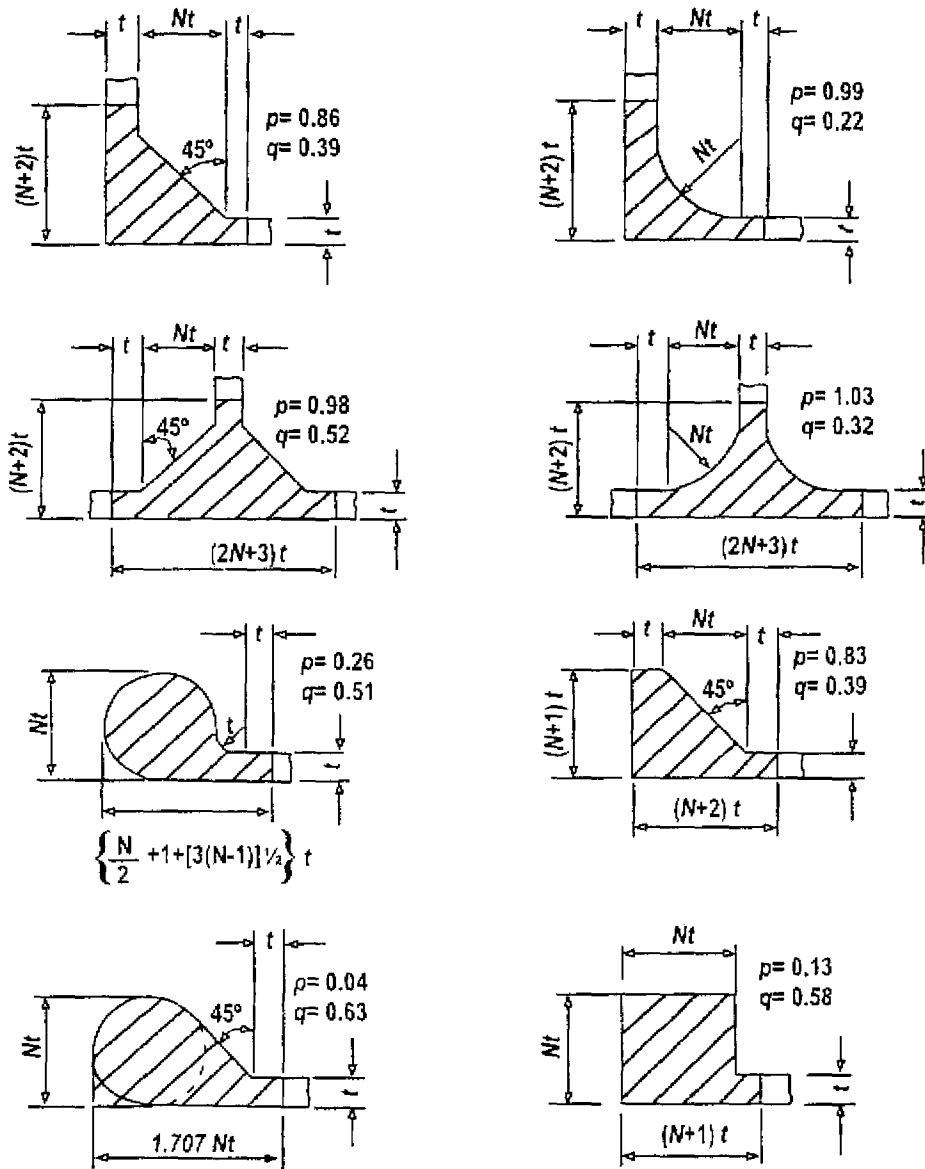


Figura F.7.F-1
Coeficientes constantes de torsión para ciertos filetes y bulbos