



**Ministerio de Fomento**  
**Secretaría General Técnica**  
Comisión Interministerial Permanente de Estructuras de Acero

# Instrucción de Acero Estructural (EAE)

## ANEJOS

Mayo de 2010

## INDICE ANEJOS

<b>ANEJO 1: NOTACIONES Y UNIDADES.....</b>	<b>448</b>
A1.1 Notación.....	448
A1.1.1 Mayúsculas romanas.....	448
A1.1.2 Minúsculas romanas.....	469
A1.1.3 Mayúsculas griegas.....	488
A1.1.4 Minúsculas griegas.....	491
A1.2 Unidades y convención de signos.....	503
<b>ANEJO 2: RELACIÓN DE NORMAS UNE.....</b>	<b>504</b>
A2.1 Normas UNE.....	504
A2.2 Normas UNE-EN.....	504
A2.3 Normas UNE-EN ISO.....	506
A2.4 Normas UNE-EN ISO/IEC.....	510
A2.5 Otras normas.....	510
<b>ANEJO 3: DIAFRAGMAS.....</b>	<b>512</b>
A3.1 Generalidades y ámbito de aplicación.....	512
A3.2 Dimensionamiento de los diafragmas en puentes de carretera.....	512
A3.2.1 Condiciones geométricas mínimas.....	512
A3.2.2 Dimensionamiento resistente de los diafragmas.....	513
A3.2.3 Rigidez necesaria de los diafragmas.....	515
A3.3 Cálculo general de los efectos de la distorsión.....	516
A3.3.1 Cálculo de la sobretensión distorsora.....	516
A3.3.2 Cálculo de la deformación por distorsión.....	522
A3.3.3 Interacción entre el dimensionamiento de los diafragmas y el cálculo longitudinal.....	522
<b>ANEJO 4: CURVAS EUROPEAS DE PANDEO.....</b>	<b>523</b>
<b>ANEJO 5: LONGITUD DE PANDEO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS.....</b>	<b>528</b>
A5.1 Generalidades.....	528
A5.2 Soportes de estructuras o pórticos de edificios.....	528
<b>ANEJO 6: ELEMENTOS PLANOS RIGIDIZADOS LONGITUDINALMENTE.....</b>	<b>535</b>
A6.1 Generalidades.....	535
A6.2 Resistencia frente a tensiones longitudinales.....	535
A6.3 Elementos planos de chapa sin rigidización longitudinal.....	535
A6.4 Elementos planos de chapa con rigidización longitudinal.....	536
A6.4.1 Consideraciones generales.....	536
A6.4.2 Comportamiento de placa.....	538
A6.4.2.1 Rigidizadores longitudinales múltiples. Concepto de chapa ortótropa equivalente.....	539
A6.4.2.2 Uno o dos rigidizadores en la zona comprimida. Concepto de columna equivalente sobre lecho elástico.....	541
A6.4.3 Comportamiento tipo pandeo de columna.....	545
A6.4.4 Interpolación entre comportamiento de placa y de pandeo de columna.....	546
A6.5 Comprobación.....	547
A6.6 Diagramas axil-deformación longitudinal ( $N-\varepsilon_{ap}$ ) 'aparentes' para chapas comprimidas rigidizadas.....	548
<b>ANEJO 7: RIGIDIZACIÓN. DETALLES.....</b>	<b>549</b>
A7.1 Generalidades.....	549
A7.2 Tensiones longitudinales.....	549
A7.2.1 Requisitos mínimos para los rigidizadores transversales.....	549
A7.2.2 Requisitos mínimos para los rigidizadores longitudinales.....	551
A7.2.3 Chapas soldadas.....	551
A7.2.4 Agujeros en rigidizadores.....	552
<b>ANEJO 8: ACCIONES PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO.....</b>	<b>554</b>
A8.1 Generalidades.....	554
A8.2 Comprobación de la estabilidad estructural en situación de incendio.....	554
A8.2.1 Resistencia al fuego exigible a la estructura.....	555
A8.2.2 Acciones térmicas. Flujo neto de calor.....	555

A8.2.3	<i>Temperatura de los gases en el sector de incendio. "Fuegos de cálculo"</i> .....	556
A8.3	<i>Curvas nominales tiempo-temperatura</i> .....	556
A8.3.1	<i>Curva normalizada tiempo-temperatura</i> .....	557
A8.3.2	<i>Curva de fuego exterior</i> .....	557
A8.3.3	<i>Curva de hidrocarburos</i> .....	557
A8.4	<i>Carga de fuego</i> .....	557
A8.4.1	<i>Densidad de carga de fuego. Valor de cálculo</i> .....	558
A8.4.2	<i>Densidad de carga de fuego característica</i> .....	559
A8.4.3	<i>Cargas de fuego protegidas</i> .....	560
A8.4.4	<i>Potenciales caloríficos netos</i> .....	561
A8.4.5	<i>Clasificación de las cargas de fuego según el tipo de actividad</i> .....	562
A8.4.6	<i>Curvas de variación de la velocidad de liberación de calor en un incendio</i> .....	563
A8.5	<i>Tiempo equivalente de exposición al fuego</i> .....	564
A8.6	<i>Modelos de fuego simplificados</i> .....	567
A8.6.1	<i>Curvas paramétricas tiempo-temperatura</i> .....	567
A8.6.2	<i>Fuegos localizados</i> .....	570
A8.7	<i>Modelos de fuego avanzados</i> .....	573
A8.7.1	<i>Modelos de una zona</i> .....	573
A8.7.2	<i>Modelos de dos zonas</i> .....	574
A8.7.3	<i>Modelos informáticos de dinámica de fluidos</i> .....	575
<b>ANEJO 9: UNIONES DIRECTAS DE PERFILES TUBULARES</b> .....		<b>576</b>
<b>ANEJO 10: NIVELES DE GARANTÍA Y REQUISITOS PARA EL RECONOCIMIENTO OFICIAL DE LOS DISTINTIVOS DE CALIDAD</b> .....		<b>604</b>
A10.1	<i>Introducción</i> .....	604
A10.2	<i>Niveles de garantía de productos</i> .....	604
A10.3	<i>Bases técnicas para el reconocimiento oficial de los distintivos</i> .....	604
A10.4	<i>Requisitos de carácter general de los distintivos</i> .....	605
A10.5	<i>Requisitos de carácter específico de los distintivos</i> .....	606
A10.5.1	<i>Elementos fabricados en taller</i> .....	606
A10.5.2	<i>Productos de acero</i> .....	606
A10.6	<i>Requisitos generales del organismo certificador</i> .....	606
A10.7	<i>Requisitos generales de los laboratorios verificadores</i> .....	608
A10.8	<i>Requisitos relativos a la instalación de producción</i> .....	608
<b>ANEJO 11: ÍNDICE DE CONTRIBUCIÓN DE LA ESTRUCTURA A LA SOSTENIBILIDAD</b> .....		<b>609</b>
A11.1	<i>Consideraciones generales</i> .....	609
A11.2	<i>Criterios generales aplicados a las estructuras de acero</i> .....	610
A11.3	<i>Método general de consideración de criterios de sostenibilidad</i> .....	611
A11.4	<i>Índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de acero (ISMA-EA)</i> .....	611
A11.4.1	<i>Definición del índice de sensibilidad medioambiental</i> .....	611
A11.4.2	<i>Clasificación medioambiental de las instalaciones</i> .....	613
A11.4.3	<i>Criterios medioambientales y funciones representativas</i> .....	614
A11.4.3.1	<i>Criterio medioambiental de caracterización de los productos de acero</i> .....	614
A11.4.3.2	<i>Criterio medioambiental de optimización de la ejecución</i> .....	615
A11.4.3.3	<i>Criterio medioambiental de sistemática del control de ejecución</i> .....	616
A11.4.3.4	<i>Criterio medioambiental de optimización del acero</i> .....	617
A11.4.3.5	<i>Criterio medioambiental de control de los impactos</i> .....	618
A11.4.3.6	<i>Criterio medioambiental de gestión de los residuos</i> .....	618
A11.5	<i>Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad</i> .....	619
A11.6	<i>Comprobación de los criterios de contribución a la sostenibilidad</i> .....	621
A11.6.1	<i>Evaluación del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad en el proyecto</i> .....	621
A11.6.2	<i>Evaluación del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad real de la ejecución</i> .....	621

# Anejo 1: Notaciones y unidades

## A1.1 Notación

Los términos y vocablos utilizados en esta Instrucción tienen el significado normalmente asignado en el ámbito del acero estructural. En cualquier caso, en general, éstos se definen cuando aparecen por primera vez dentro de la Instrucción.

### A1.1.1 Mayúsculas romanas

Término	Definición	Apartado
A	valor de la acción accidental. Área. Ancho entre esquinas en perfiles conformados en frío. Porcentaje de productos de acero en posesión de distintivo de calidad oficialmente reconocido;	9.2, 22.3.2, 24.3.1, 34.2, 34.3, 34.5, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.4, 35.3, 46.3, 56.1, 60.2.1, 60.3, 61.1, 80.2, A11.4.3.1, A11.4.3.4.
$A_0$	sección del cordón. Superficie de reparto máxima a compresión en una placa de base;	64.2, 65.2.2, A-9-9, A-9-17, A-9-19
$A'_0$	superficie restringida en la que se aplica la fuerza de la placa de base a la cimentación;	65.2.2
$A_1$	área de la sección transversal del elemento 1;	A-9-2, A-9-3
$A_c$	área bruta para elementos planos rigidizados sometidos a compresión uniforme. Sección bruta de la zona comprimida de la placa rigidizada exceptuando las partes de los subpaneles soportadas por un panel de placa adyacente;	A6.4.1, A6.4.2
$A_{c,ef}$	área de la sección reducida del ala esbelta comprimida, con o sin rigidizadores, frente a abolladura. Área de la sección reducida de la zona comprimida del panel rigidizado;	21.5, 34.1.2.5, A6.4.1, A6.4.4
$A^*_{c,ef}$	área de la sección reducida de la zona comprimida del panel rigidizado para los casos en que la influencia del arrastre por cortante sea significativa;	A6.4.1
$A_{c,ef,loc}$	suma de la áreas reducidas de todos los rigidizadores y los subpaneles que se encuentran, totalmente o en parte, en la zona comprimida. Área reducida de la placa rigidizada, exceptuando las partes de los subpaneles soportadas por un panel	A6.4.1, A6.4.2

	de placa adyacente, calculada teniendo en cuenta la posible abolladura de los diferentes subpaneles y/o de los elementos planos de rigidización;	
$A_{cor}$	área de la sección transversal del cordón;	71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2
$A_d$	área de la sección transversal de la diagonal. Área de la diagonal de la celosía;	18.2.5, 62.1.4, 71.2.3.1, A3.3.1
$A_e$	área equivalente a cortante de la sección;	67.2.1.2
$A_{E,k}$	valor característico de la acción sísmica;	13.2
$A_{ef}$	área reducida o de la sección transversal eficaz, según el caso. Área de la sección reducida eficaz obtenida bajo la actuación de un esfuerzo axial de compresión;	21.5, 22.3.5, 34.1.2.5, 34.3, 34.7.2.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.4, 35.3, 35.7.1, 35.7.2, 60.3, 73.9.3, 73.11.3, 73.11.4, A6.2, A6.5
$A_{ef,f}$	área reducida del ala comprimida;	35.2.3
$A_{ef,w,c}$	área reducida de la parte comprimida del alma;	35.2.3
$A_f$	área bruta del ala traccionada. Área de un ala. Superficie de suelo del sector de incendio;	34.4, 34.5, 35.5.2.2, 61.1, A8.4.2, A8.5
$A_{f,net}$	área neta del ala traccionada;	34.4
$A_{fb}$	área del par de rigidizadores de una zona traccionada o comprimida de un soporte;	62.1.3
$A_{fc,ef}$	área reducida del ala comprimida;	35.8
$A_{fi}$	superficie del sector de incendio si la carga de fuego está uniformemente distribuida;	A8.4.6
$A_g$	área bruta de la sección del perfil o estructura ligera de acero;	73.4, 73.11.4
$A_h$	superficie de las aberturas horizontales de la cubierta;	A8.5
$A_i$	área de la sección transversal un cordón ( $i=1,2,\dots$ ). Área de la sección parcial $i$ -ésima de una partición de la sección tal que la temperatura de cada una pueda asimilarse a un valor uniforme en su interior ( $\theta_i$ ), en cada instante del proceso. Área del trapecio que constituye la sección transversal de la viga cajón. Parámetro;	18.2.5, 35.3, A3.3.1, A11.4.1

$A_j$	superficie del elemento de cerramiento $j$ , excluidas las aberturas;	A8.6.1
$A_k$	valor característico de la acción accidental.	13.2
$A_L$	área perimetral expuesta de un elemento de acero por unidad de longitud;	48.1
$A_m$	área de la sección transversal de un montante. Área expuesta de un elemento de acero por unidad de longitud;	18.2.5, 48.1
$A_{net}$	sección transversal neta:	34.2, 58.2, 58.5.2, 73.13.4
$A_{nt}$	área neta de la zona sometida a tracción a efectos de resistencia a desgarro;	58.5.1
$A_{nv}$	área neta de la zona sometida a cortante a efectos de resistencia a desgarro;	58.5.1
$A_p$	área de la superficie interna del revestimiento por unidad de longitud del elemento. Sección bruta de la placa;	48.2, A6.4.2.1
$A_{pl}$	superficie de la placa de base;	65.2.3
$A_r$	porción de área del alma del soporte comprendida entre dos rigidizadores del par. Sobreespesor de soldadura de placa del tablero del puente;	62.1.3
$A_s$	sección transversal de un rigidizador a efectos del cálculo de la resistencia frente a pandeo. Área de la sección resistente a tracción del tornillo o perno;	35.9.1, 58.6, 58.7, 58.8, 61.2, 62.3, 65.2.1, 65.2.5, 76.7
$A_{sl}$	área de los rigidizadores longitudinales situados dentro de una anchura $b_0$ del ala. Suma de la sección bruta de todos los rigidizadores longitudinales considerados individualmente;	21.4, A6.4.2.1
$A_{sl,1}$	sección bruta de la columna equivalente sobre lecho elástico para el cálculo de la tensión crítica de abolladura en placas. Área bruta de la sección transversal del rigidizador y de las partes adyacentes de la placa;	A6.4.2.2, A6.4.3
$A_{sl,ef}$	suma de las áreas reducidas de todos los rigidizadores longitudinales con área bruta $A_{sl}$ que se encuentran en la zona comprimida. Área de la sección reducida debido a la abolladura de la placa;	A6.4.1, A6.4.3
$A_t$	superficie total del contorno del sector de incendio (muros, techo y suelo, incluidas las aberturas);	A8.4.2

$A_v$	área a cortante. Área de la sección transversal del montante. Superficie de la aberturas. Superficie de las aberturas verticales de la fachada;	34.5, 46.4, 71.2.3.1, A8.4.6, A8.5, A8.6.1, A-9-9
$A_{vc}$	área a cortante del pilar;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
$A_w$	área del alma. Área del agujero para una soldadura en botón;	34.5, 34.7.1, 35.8, 56.1, 59.10
B	anchura del tablero. Ancho entre esquina y borde libre en perfiles conformados en frío;	38.4, 80.2
$B_D$	bimomento distorsional que solicita la viga a lo largo del eje longitudinal z;	A3.3.1
$B_{Ed}$	bimomento de torsión de alabeo;	34.6
$B_{p,Rd}$	resistencia a punzonamiento de la pieza bajo la tuerca o bajo la cabeza del tornillo;	58.7
$C_1$	factor corrector para la ley de momentos flectores;	35.3
$C_d$	valor límite admisible para el estado límite a comprobar (deformaciones, vibraciones, etc.);	8.1.3,
C.E.	clase de ejecución;	91.2.2.5
$C_E$	coeficiente de escuadra;	61.6
CEV	valor del carbono equivalente;	26.5.5, 27.1, 27.2.1, 27.2.3, 27.2.2, 27.3
$C_{f,d}$	coeficiente de rozamiento entre la placa de base y el hormigón;	65.2.1
$C_{LT}$	coeficiente;	35.3
$C_{mi,0}$	coeficiente;	35.3
$C_{mLT}$	factor de momento uniforme equivalente;	35.3
$C_{my}$	factor de momento uniforme equivalente;	35.3
$C_{mz}$	factor de momento uniforme equivalente;	35.3
$C_{yy}$	coeficiente;	35.3
$C_{yz}$	coeficiente;	35.3
$C_{zy}$	coeficiente;	35.3
$C_{zz}$	coeficiente;	35.3

D	desviación cóncava o convexa de la planeidad en un perfil conformado en frío. Diámetro del fuego;	80.2, A8.6.2
D <sub>1</sub>	longitud de la herramienta;	92.2
D <sub>2</sub>	distancia de la herramienta al paramento;	92.2
D <sub>d</sub>	daño acumulado por el detalle como resultado de los ciclos de carga;	42.3, 42.6
D <sub>r</sub>	pendiente existente entre tableros ortótropos para puentes, después del montaje;	80.4
E	módulo de elasticidad longitudinal del acero;	18.2.4, 18.2.5, 20.3, 26.2, 26.3, 26.5.2, 32.4, 35.3, 35.5.2.1, 35.6, 35.8, 57.4, 61.6, 62.1.2, 62.3, 65.2.5, 66.2, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, 73.7, 73.9.2, 73.10, 73.11.3, A6.4.2.1, A6.4.3, A7.2.1, A3.3.1, A5.2, A-9-8
E <sub>a</sub>	módulo de elasticidad del acero a 20°C;	45.1
E <sub>a,θ</sub>	módulo de elasticidad en la fase lineal del diagrama tensión-deformación para la temperatura θ <sub>a</sub> ;	45.1
E <sub>c</sub>	módulo de elasticidad entre el hormigón y la placa de base a compresión;	65.2.5
E <sub>d</sub>	valor de cálculo del efecto de las acciones. Módulo de elasticidad del acero;	8.1.2, 8.1.3,
E <sub>d,desestab</sub>	valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras;	8.1.2, Artº 33
E <sub>d,estab</sub>	valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras;	8.1.2, Artº 33
E <sub>fi,d</sub>	Efectos de la acción de incendio definida en 43.2, conjuntamente con las acciones mecánicas concomitantes especificadas en el Art. 44º, con los coeficientes parciales de seguridad indicados en el mismo;	Art. 46º, 46.8.1, Art. 47º, A8.5
E <sub>g</sub>	energía interna del gas;	A8.7.1
EIη <sub>cr</sub>	momento flector debido a la deformada η <sub>cr</sub> en la	22.3.5

	sección transversal crítica;	
$E_s$	módulo de elasticidad longitudinal;	32.2
F	Fuerza. Factor de proporcionalidad;	59.8.2, A3.3.3
$F_{b,Ed,ser}$	esfuerzo de aplastamiento en un bulón desmontable en estado límite de servicio;	58.9
$F_{b,Rd}$	resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo;	58.6, 58.9, 58.10
$F_{b,Rd,ser}$	resistencia a aplastamiento de un bulón desmontable en estado límite de servicio;	58.9
$F_{c,Ed}$	esfuerzo transmitido a la cartela;	60.3
$F_{c,fb,Rd}$	resistencia de cálculo del ala y el alma de la viga a compresión;	61.2.1, 62.2.2
$F_{C,Rd}$	resistencia de la zona de compresión originada por los esfuerzos que se transmiten desde los elementos comprimidos del soporte a la cimentación a través de la placa de base;	65.2.2
$F_{c,wc,Rd}$	máximo esfuerzo de compresión que puede resistir la zona comprimida en el soporte;	62.1.2, 62.2.2
$F_{ch,Rd}$	resistencia a tracción del conjunto chapa-tornillo en uniones con chapa frontal y con tornillos de alta resistencia pretensados;	58.7
$F_{cr}$	Carga crítica de inestabilidad elástica para un cierto modo de inestabilidad lateral en una estructura intraslacional, bajo la configuración de la combinación de acciones a considerar. Carga transversal crítica de abolladura local del alma frente a carga concentrada;	23.2, 35.6
$F_d$	valor de cálculo de una acción F.	
$F_{e,Rd}$	resistencia por fallo en el extremo de un punto de soldadura en una soldadura por resistencia;	73.13.4
$F_{Ed}$	valor de cálculo de la fuerza transversal aplicada. Carga de cálculo que actúa sobre la estructura para la combinación de acciones. Valor de cálculo de la reacción de compresión del apoyo;	21.6, 23.2, 35.6, 35.7.2, 58.3, 58.9, 58.10, 59.3.4, 60.2.2, 61.3, 62.1.3, 66.2
$F_{Ed,ser}$	valor de cálculo de la reacción de compresión del apoyo en estado límite de servicio;	66.2
$F_{H,Ed}$	valor de cálculo de la fuerza horizontal, estimada en el nivel inferior de cada planta, resultante de las	23.2.1

	cargas horizontales que actúan por encima de dicho nivel, incluyendo los efectos de las imperfecciones;	
$F_{i,Ed}$	esfuerzo en cada tornillo originado por el giro relativo entre las piezas a unir en una unión plana excéntrica atornillada;	60.2.2, 60.2.2
$F_k$	valor característico de una acción. Fuerza puntual;	Art. 11º
$F_{net,Rd}$	resistencia por sección neta de un punto de soldadura en una soldadura por resistencia;	73.13.4
$F_{Rd}$	valor de la resistencia del alma frente a cargas transversales concentradas;	35.6, 58.10, 60.1.2, 60.2.2, 62.1.3, 62.1.5, 62.2.1, 62.4.3
$F_{Rdu}$	fuerza máxima de compresión concentrada que puede actuar sobre el hormigón según la Instrucción EHE;	65.2.2
$F_s$	carga puntual;	35.6
$F_{s,Ed}$	esfuerzo a transmitir por el tornillo;	58.2
$F_{s,Rd}$	resistencia a deslizamiento de un tornillo de alta resistencia pretensado;	Artículo 39º, 58.2, 58.8
$F_{s,Sd}$	solicitud de cálculo en servicio del tornillo;	Artículo 39º
$F_{t,Ed}$	esfuerzo de tracción en un tornillo en dirección a su eje;	58.7, 58.7.1, 58.8
$F_{T,ep,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción para una fila de tornillos individual de una chapa frontal en flexión;	61.2.1, 62.2.2
$F_{t,fc,Rd}$	resistencia del ala del soporte;	62.1.2, 62.2.2
$F_{T,i,Rd}$	resistencia a tracción de cálculo para un casquillo en T equivalente;	61.2
$F_{t,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción de un tornillo;	58.7, 58.7.1, 61.2
$F_{T,Rd}$	resistencia de cálculo del ala de un casquillo en T equivalente;	61.2, 61.2.1, 62.2.1, 62.2.2
$F_{t,wb,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción para una fila de tornillos individual del alma de la viga en tracción;	61.2.1, 62.2.2
$F_{t,wc,Rd}$	resistencia del alma del soporte;	62.1.2, 62.2.2
$F_{tb,Rd}$	resistencia a aplastamiento y rasgado de un punto de soldadura en una soldadura por resistencia;	73.13.4

$F_{tr,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción eficaz de una fila de tornillos $r$ ;	61.2.1, 62.2.2
$F_{v,Ed}$	valor de cálculo de la fuerza vertical, estimada en el nivel inferior de cada planta, resultante de las cargas verticales que actúan por encima de dicho nivel. Esfuerzo de cálculo que solicita un tornillo en dirección normal a su eje;	23.2.1, 58.6, 58.7.1, 58.9
$F_{v,Rd}$	resistencia a cortante del tornillo o punto de soldadura en una soldadura por resistencia;	58.6, 58.7, 58.9, 58.10, 73.13.4
$F_{V2,Rd}$	resistencia del perno a cortante y a aplastamiento contra la placa de base o contra la arandela de fijación;	65.2.1
$F_{w,Ed}$	esfuerzo de cálculo a transmitir en una soldadura de botón o en ranura. Cortante de cálculo sobre el cordón o punto de soldadura en uniones por solape ejecutadas con soldadura al arco;	59.10, 60.1, 60.1.1, 60.2.1, 73.13.5.1, 73.13.5.2
$F_{w,Rd}$	resistencia a cortante del cordón o punto de soldadura en uniones por solape ejecutadas con soldadura al arco;	73.13.5.1, 73.13.5.2
$F_{w,Sd}$	resistencia de una soldadura de botón o en ranura;	59.10
$G$	valor de la acción permanente. Módulo de elasticidad transversal del acero. Centro de gravedad de la sección bruta. Módulo de elasticidad transversal del neopreno;	9.2, 18.2.4, 18.2.5, 20.7, 32.4, 66.1, 73.11.3, A3.3.3
$G^*$	valor de la acción permanente de valor no constante;	9.2,
$G'$	centro de gravedad de la sección reducida;	20.7
$G_{kj}$	valor característico de las acciones permanentes.	13.2
$G_{k,j}^*$	valor característico de las acciones permanentes de valor no constante.	13.2
$H$	altitud (metros sobre el nivel del mar). Altura del edificio. Fuerza horizontal. Diferencia entre los esfuerzos axiales a un lado y a otro del nudo. Fuerza horizontal que es capaz de transmitir el apoyo. Altura del sector de incendio. Distancia entre el foco de fuego y el techo;	Art. 11°, 37.1, 37.2.2, 50.2, 60.3, 66.1, A8.5, A8.6.2
$H_{Ed}$	valor de cálculo de la resultante de las acciones horizontales totales, en la base del edificio, correspondientes a la combinación de acciones considerada;	22.3.1

$H_i$	altura de una planta del edificio;	37.1, 37.2.2
$H_{td}$	valor de cálculo de la fuerza transversal equivalente a los defectos iniciales de verticalidad en elementos comprimidos;	22.3.3
$H_u$	potencial calorífico neto del material;	A8.4.4, A8.4.6
$H_{u0}$	potencial calorífico neto del material seco;	A8.4.4
$H_{ui}$	potencial calorífico neto;	A8.4.2
HV	dureza Vickers;	66.2, 77.5.5
I	momento de inercia de la sección transversal;	34.5, 35.3, 61.1, 73.11.3, A5.2
ICES-EA	índice de contribución de la estructura de acero a la sostenibilidad;	A11.1, A11.3, A11.5, A11.6.1, A11.6.2
ISMA-EA	índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de acero;	A11.1, A11.3, A11.4, A11.4.1, A11.5
$I_b$	momento de inercia de la viga conectada en la unión. Inercia al alabeo distorsional de la sección en una viga cajón unicelular simétrica;	57.4, A3.3.1
$I_c$	momento de inercia del pilar conectado en la unión;	57.4, 65.2.5
$I_{cor}$	inercia del cordón en el plano;	71.2.3.2
$I_{ef}$	momento de inercia de la sección reducida. Inercia efectiva del elemento compuesto;	20.7, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, A6.2
$I_{ef,f}$	momento de inercia del ala comprimida reducida alrededor del eje débil de la sección;	35.2.3
$I_f$	momento de inercia del conjunto de ambas alas respecto al eje de inercia de la pieza;	61.1
$I_i$	momento de inercia de la sección transversal de un cordón ( $i=1,2$ );	18.2.5
$I_m$	momento de inercia de la sección transversal de un montante;	18.2.5
$I_{min}$	inercia mínima;	67.2.1.2
$I_{net}$	momento de inercia de la sección neta del rigidizador transversal;	A7.2.4

$I_p$	momento de inercia polar del área de los cordones respecto a su centro de gravedad. Inercia de la presilla en el plano. Inercia a flexión de la placa. Momento de inercia polar del rigidizador, considerado aisladamente, alrededor del borde fijado a la chapa rigidizada;	60.2.1, 71.2.3.2, A6.4.2.1, A7.2.1
$I_{sl}$	momento de inercia de la rigidización longitudinal con respecto al eje z-z. Momento de inercia de la chapa rigidizada;	35.5.2.1, 35.9.3.3, A6.4.2.1
$I_{sl,1}$	momento de inercia de la sección bruta de la columna alrededor del un eje que pasa por su centro de gravedad y que es paralelo al plano de la chapa. Inercia de la sección transversal bruta del rigidizador longitudinal y de las partes adyacentes de la chapa, respecto al eje de flexión que ocasiona una deformación del rigidizador fuera del plano de la chapa;	A6.4.2.2, A6.4.3
$I_{st}$	momento de inercia del rigidizador transversal;	A7.2.1
$I_T$	módulo de torsión uniforme del rigidizador considerado aisladamente;	A7.2.1
$I_t$	inercia de torsión de St. Venant;	18.2.4, 73.11.3
$I_w$	inercia de alabeo. Momento de inercia del elemento del marco correspondiente al alma del cajón;	18.2.4, 34.6, 61.1
$l_y$	longitud efectiva de carga;	35.6, 35.7.2
$K$	coeficiente de rigidez efectiva de la viga;	A5.2
$K_i$	parámetro;	A11.4.1
$K_1, K_2$	coeficientes de rigidez para los tramos longitudinales adyacentes al soporte;	A5.2
$K_b$	valor medio de $I_b/L_b$ para todas las vigas del techo piso;	57.4
$K_c$	valor medio de $I_c/L_c$ de los pilares del techo piso. Coeficiente de rigidez del pilar $I/L$ ;	57.4, A5.2
$K_D$	constante de rigidez del diafragma;	A3.3.1
$K_{i,j}$	coeficiente de rigidez efectiva de la viga (con $i=1,2$ y $j=1,2$ );	A5.2
$K_v$	resiliencia;	26.2
$L$	luz. Longitudinal. Longitud de la cartela. Longitud del elemento. Longitud de los cordones de soldadura.	21.1, 22.3.2, 22.4, 27.2.2, 27.2.4,

	Longitud total de una ranura. Profundidad de la placa de base. Longitud de galga;	34.1.2.5, 35.3, 37.2.1, 37.2.2, 37.3.1, 37.3.2, 40.2, 42.6, 45.1, 46.3, 59.3.6, 60.3, 61.6, 65.2.3, Art. 67°, 71.1, 71.2.3, 71.2.3.2, 72.3, 73.8, 73.11.3, 80.2, 80.4, A5.2
L <sub>1</sub>	distancia libre entre extremos de cordones parciales en cordones discontinuos, de la misma o distinta cara, en piezas traccionadas. Distancia entre rigidizadores contiguos;	59.3.4, 80.2
L <sub>2</sub>	distancia libre entre extremos de cordones parciales en cordones discontinuos, de la misma o distinta cara, en piezas comprimidas o a cortante. Distancia entre rigidizadores contiguos;	59.3.4, 80.2
L <sub>b</sub>	longitud de la viga conectada en la unión. Longitud de alargamiento de los tornillos. Longitud de apretadura de los tornillos, distancia desde la mitad del espesor de la tuerca a la mitad del espesor de la cabeza. Longitud del perno. Longitud de la diagonal de la celosía;	57.4, 62.3, 65.2.5, A3.3.1
L <sub>c</sub>	longitud de pilar conectado en la unión;	57.4, 65.2.5
L <sub>cor</sub>	longitud de pandeo del cordón;	71.2.3.1
L <sub>cr</sub>	longitud de pandeo en el plano de pandeo por flexión considerado;	35.1.3, A5.1, A5.2
L <sub>f</sub>	longitud de las llamas de un fuego localizado;	A8.6.2
L <sub>fi</sub>	longitud de pandeo en situación de incendio;	46.3
L <sub>h</sub>	longitud horizontal de las llamas;	A8.6.2
L <sub>j</sub>	longitud de la unión, medida en la dirección de la fuerza a transmitir entre centros de tornillos extremos;	60.1.2
L <sub>p</sub>	longitud de la diagonal geométrica de la sección transversal del cajón;	A3.3.1
L <sub>w</sub>	longitud de cada cordón parcial en cordones discontinuos;	59.3.4, 59.8.1, 59.8.2, 59.10, 60.3, 61.4, 73.13.5.2
L <sub>w,e</sub>	longitud del cordón en ángulo frontal extremo,	73.13.5.1

	paralelo a la dirección del esfuerzo;	
$L_{w,s}$	longitud del cordón en ángulo lateral, paralelo a la dirección del esfuerzo;	73.13.5.1
$L_{we}$	longitud de cada cordón parcial en cordones discontinuos en los extremos de las piezas a unir;	59.3.4
$L_{wef}$	longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo;	59.8.1
$L_{wi}$	longitud de un cordón de soldadura en la unión;	60.1.1
$M$	momento flector;	20.7, 57.2, 60.3
$M_{0,Ed}$	valor de cálculo del momento flector en el cordón;	64.2
$M_{b,fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión frente a pandeo lateral de un elemento con sección de clase 1,2 ó 3, con una temperatura máxima del acero en el ala comprimida de la sección ( $\theta_{a,com}$ ) en un instante dado (t) del proceso de incendio;	46.5
$M_{b,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión frente a pandeo lateral;	35.2.1, 73.11.3
$M_{b,V,Rd}$	resistencia de cálculo a pandeo lateral de un elemento no arriostrado lateralmente solicitado a flexión alrededor del eje fuerte a temperatura ambiente, incluyendo en su caso la reducción por efecto del esfuerzo cortante;	46.5
$M_{b1,Ed}$	momento de cálculo a un lado del soporte;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
$M_{b2,Ed}$	momento de cálculo al otro lado del soporte;	62.1.2, 62.1.4, 62.3
$M_{c,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección a flexión;	34.4, 34.7.2.1, 35.2.3, 62.1.2, 73.11.2
$M_{c,T,Rd}$	resistencia de cálculo de una sección sometida a flexión y torsión;	34.6
$M_{cr}$	momento flector crítico elástico de pandeo lateral;	35.2.2. 35.2.2.1
$M_{Ed}$	valor de cálculo del momento flector. Valor de cálculo del máximo momento flector en el centro del elemento compuesto, considerando los efectos de segundo orden;	34.4, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.2.1, 35.2.2.1, 35.2.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 53.2, 56.1, 57.3, 57.5, 58.9, 60.2.1, 60.2.2, 61.1, 61.2.1,

		62.1.1, 62.2.2, 65.2.1, 71.2.3, 73.11.3, A6.5, A-9- 13
$M'_{Ed}$	valor de cálculo del máximo momento flector en el centro del elemento compuesto, sin considerar efectos de segundo orden;	71.2.3
$M_{Ed,1}$	valor de cálculo del momento flector en el elemento 1;	A-9-2, A-9-3
$M_{Ed,ser}$	momento flector que solicita a un bulón desmontable en estado límite de servicio;	58.9
$M_{Edw}$	valor del momento flector de cálculo originado por el flector en la sección de empalme y por la excentricidad del cortante en un empalme con cubrejuntas;	61.1
$M_{el}$	momento elástico de la sección de la pieza;	56.1
$M_{f,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal considerando exclusivamente la sección reducida de las alas;	35.5.2.2, 35.7.1
$M_{f,Rk}$	resistencia característica a flexión de la sección transversal considerando exclusivamente la sección reducida de las alas;	35.5.2.2
$M_{fi,Ed}$	valor de cálculo del momento flector en situación de incendio;	46.4, 46.6
$M_{fi,t,Rd}$	valor de cálculo del momento flector resistido para el instante (t) del proceso de incendio;	46.4
$M_{fi,\theta,Rd}$	resistencia de cálculo a flexión de una sección de clase 1,2 ó 3 con el pandeo lateral coaccionado, y con una temperatura uniforme ( $\theta_{a,t}$ );	46.4
$M_i$	momento flector en la sección para la carga "i" aislada para el cálculo del coeficiente $\Psi_{el}$	21.3.3
$M_{i,Ed}$	valor de cálculo del momento flector en cada tornillo de la unión plana excéntrica atornillada;	60.2.2
$M_{ip,1,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia a flexión de la unión, expresada en términos del momento flector interno del elemento 1 en el plano de la unión;	A-9-3, A-9-4, A-9-10, A-9-11, A-9-18
$M_{ip,i,Ed}$	momento flector de cálculo en el plano de la unión;	64.6.2, 64.7.2.1, 64.8
$M_{ip,i,Rd}$	resistencia de la unión a momento flector en el plano	64.6.2, 64.7.2.1,

	de la unión;	64.8
$M_{j,Ed}$	valor de cálculo del momento flector en la unión;	57.5, 62.2.2
$M_{j,Rd}$	momento flector de cálculo que resiste la unión;	61.2.1, 62.1.5, 62.2.1, 62.2.2, 62.4.1, 62.4.3
$M_{k,i}$	cantidad de material combustible;	A8.4.3
$M_{N,Rd}$	resistencia plástica de la sección reducida, debido a la existencia del esfuerzo axial $N_{Ed}$ ;	34.7.2.1, 35.7.1
$M_{op,1,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia a flexión de la unión, expresada en términos del momento flector interno del elemento 1 fuera del plano de la unión;	A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-11
$M_{op,i,Ed}$	momento flector de cálculo en el plano normal al de la unión;	64.6.2, 64.7.2.1
$M_{op,i,Rd}$	resistencia de la unión a momento flector en el plano normal al de la unión;	64.6.2, 64.7.2.1
$M_{pl}$	momento plástico de la sección de la pieza;	56.1
$M_{pl,Rd}$	valor de cálculo de la resistencia plástica a flexión;	35.3, 35.7.1, 53.2, 57.3, 61.2, 61.6, 62.4.1, 73.11.2
$M_{Rd}$	momento último en el diagrama momento-rotación para la unión sometida a momento flector;	57.2, 57.3, 57.5, 58.9
$M_{Rd,ser}$	resistencia a flexión de un bulón desmontable en estado límite de servicio;	58.9
$M_{Rk}$	resistencia característica a flexión de la sección transversal crítica;	22.3.5, 35.3
$M_t$	momento torsor aplicado al tornillo;	76.7.1
$M_{V,Rd}$	momento último de la sección solicitada en flexión simple a temperatura ambiente, incluyendo en su caso la reducción por efecto del esfuerzo cortante;	46.4
$M_{x,Ed}$	momento torsor de cálculo concomitante con $N_{c,Ed}$ ;	65.2.1
$M_{y,Ed}$	valor de cálculo del momento flector máximo existente entre puntos de arriostamiento. Valor de cálculo del momento flector máximo a lo largo del elemento alrededor del eje y-y; ;	35.2.3, 35.3
$M_{y,V,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a flexión, para secciones en doble T con alas iguales y sometidas a flexión alrededor del eje principal de inercia de la sección, considerando la interacción con el esfuerzo	34.7.1

	cortante y el esfuerzo torsor;	
$M_{z,Ed}$	valor de cálculo del momento flector máximo a lo largo del elemento alrededor del eje z-z;	35.3
N	esfuerzo normal. Número de determinaciones;	20.7, 41.1, 48.4, 59.3.5, 60.3, 65.2.2, 72.4.3, A5.2, A6.6
$N_0$	esfuerzo de pretensado de cálculo en el tornillo;	58.2, 58.8, 65.2.3, 76.7, 76.7.1
$N_{0,Ed}$	esfuerzo de cálculo axil en el cordón;	64.2, A-9-5, A-9-6, A-9-16
$N_{0,Rd}$	resistencia de cálculo a esfuerzo axil en el cordón;	A-9-9, A-9-17, A-9-19
$N_1$	esfuerzo axil de compresión aplicado en un tramo del cordón;	72.4.1
$N_1$	esfuerzo axil aplicado en el elemento 1;	A-9-1, A-9-3, A-9-5, A-9-6, A-9-7, A-9-10, A-9-12, A-9-14, A-9-15, A-9-19
$N_{1,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo en el elemento 1;	A-9-5, A-9-6, A-9-12, A-9-16
$N_{1,Rd}$	resistencia de cálculo a esfuerzo axil en el elemento 1;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-5, A-9-7, A-9-10, A-9-12, A-9-17
$N_2$	esfuerzo axil de compresión aplicado en el otro tramo del cordón. esfuerzo axil aplicado en el elemento 2;	72.4.3, A-9-1, A-9-5, A-9-6, A-9-7, A-9-12, A-9-15, A-9-16, A-9-17
$N_{2,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo en el elemento 2;	A-9-5, A-9-6, A-9-12, A-9-16
$N_{2,Rd}$	resistencia de cálculo a esfuerzo axil en el elemento 2;	A-9-1, A-9-5, A-9-12
$N_3$	esfuerzo axil aplicado en el elemento 3;	A-9-5, A-9-12
$N_{3,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo en el elemento 3;	A-9-9
$N_{b,fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo a pandeo de un elemento solicitado a compresión cuya sección, de área A, es de clase 1,2 ó 3;	46.3

$N_{b,Rd}$	resistencia a pandeo de cálculo del elemento comprimido;	35.1.1, 71.2.3, 71.2.3.1, 73.11.3
$N_{c,Ed}$	valor absoluto del esfuerzo de compresión de cálculo transmitido por la placa de base a la cimentación;	65.2.1
$N_{c,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección a compresión;	34.2
$N_{c,Sd}$	valor absoluto del esfuerzo de compresión de cálculo transmitido por la placa de base a la cimentación, incluyendo el posible esfuerzo de pretensado de los pernos de anclaje;	65.2.1
$N_{cor,Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión sobre el cordón comprendido entre dos enlaces consecutivos;	71.2.3, 71.2.3.2
$N_{cr}$	esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado. Esfuerzo axil crítico elástico efectivo del elemento compuesto;	22.3.2, 24.3.1, 35.1.2, 35.1.3, 35.1.4, 35.3, 41.1, 71.2.3, 73.11.3, A5.2
$N_{cr,F}$	esfuerzo axil crítico elástico de pandeo por flexión;	73.11.3
$N_{cr,T}$	esfuerzo axil crítico elástico de pandeo por torsión;	35.1.4, 35.3, 73.11.3
$N_{cr,TF}$	esfuerzo axil crítico elástico de pandeo por torsión y flexión;	35.1.4, 73.11.3
$N_E$	esfuerzo axil crítico elástico (carga crítica de pandeo de Euler) del elemento de rigidización;	40.1, A5.2
$N_{Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión en el elemento considerado. Valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión en el centro del elemento compuesto;	22.3.1, 22.3.2, 22.3.3, 22.4.1, 24.3.1, 34.1.2.4, 34.2, 34.3, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.3, 35.5.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 53.2, 56.1, 58.5.1, 61.1, 61.2.1, 62.2.2, 62.3, 62.4.1, 65.2.2, 71.2.3, 73.11.3, A6.5, A7.2.1, A-19-3
$N_{Ed,1}$	valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión en el elemento 1;	A-9-2, A-9-3
$N_{Edf}$	esfuerzo axil resistido por cada una de las uniones	61.1

	de alas en un empalme con cubrejuntas;	
$N_{Edw}$	esfuerzo axil dirigido según la directriz de la pieza repartido uniformemente entre todos los tornillos de la unión en un empalme con cubrejuntas;	61.1
$N_{Ef,Rd}$	resistencia al desgarro;	58.5.1
$N_{fi,Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo axil en situación de incendio;	46.4, 46.6
$N_{fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo de una sección solicitada en tracción pura y con una distribución no homogénea de temperatura en un instante dado (t) del proceso de incendio;	46.2
$N_i$	esfuerzo axil de compresión aplicado en el elemento i de la unión;	A-9-7, A-9-8
$N_{i,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo en la diagonal o montante i;	64.2, 64.6.2, 64.7.2.1, 64.8, A-9-5, A-9-13
$N_{i,Rd}$	resistencia de cálculo de la unión a esfuerzo axil;	64.6.2, 64.7.2.1, 64.8, A-9-1, A-9-5, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-13, A-9-14, A-9-15, A-9-17, A-9-19
$N_j$	esfuerzo axil de compresión aplicado en el elemento j de la unión;	A-9-7, A-9-17
$N_{j,Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo axil en la unión;	61.2.1, 62.2.2
$N_{j,Rd}$	esfuerzo axil resistente de cálculo en la unión, suponiendo que no existe ningún momento aplicado;	61.2.1, 62.2.2
$N_{m\acute{a}x}$	reacción vertical máxima en el apoyo en N;	66.1
$N_{m\acute{i}n}$	reacción vertical mínima en el apoyo en N;	66.1
$N_{net,Rd}$	resistencia de cálculo a tracción del área neta;	34.2
$N_p$	esfuerzo axil plástico de la sección de la pieza;	56.1
$N_{p,Ed}$	valor del esfuerzo axil descontando las componentes de las diagonales o montantes paralelas al eje del cordón;	64.2
$N_{pl,0,Rd}$	resistencia plástica de cálculo de la sección en el cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$N_{pl,Rd}$	resistencia plástica de cálculo de la sección bruta;	34.2, 34.7.2.1, 46.2, 53.2, 61.2.1,

		62.2.2, 62.3, 62.4.1, A-9-13
$N_{Rd}$	resistencia de cálculo de la unión;	60.1.2
$N_{RK}$	resistencia característica a esfuerzo axil de la sección transversal crítica;	22.3.5, 35.3
$N_t$	esfuerzo axil de tracción en la diagonal de longitud $d_t$ ;	72.4.3
$N_{t,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección a tracción;	34.2
$N_{u,Rd}$	resistencia última de cálculo de la sección transversal neta;	34.2, 58.5.2
$N_{x,Ed}$	esfuerzo axil de cálculo para una unión en x;	A-9-5
$\tilde{N}$	número de ciclos de fallo de cada carrera de tensión;	42.6
$\tilde{N}_\sigma$	número de veces sucesivas que debe aplicarse la carrera de tensiones normales $\Delta_\sigma$ para agotar la resistencia a fatiga del detalle según la curva S-N correspondiente, minorada mediante el coeficiente $Y_{Mf}$ ;	42.3
$\tilde{N}_\tau$	número de veces sucesivas que debe aplicarse la carrera de tensiones tangenciales $\Delta_\tau$ para agotar la resistencia a fatiga del detalle según la curva S-N correspondiente, minorada mediante el coeficiente $Y_{Mf}$ ;	42.3
O	coeficiente de aberturas;	A8.5, A8.6.1
$O_{lim}$	coeficiente de aberturas límite;	A8.6.1
$P_i$	carga puntual individual. Valor que toma la función representativa para cada indicador;	70.4, A11.4.1, A11.4.3.1, A11.4.3.2, A11.4.3.3, A11.4.3.4, A11.4.3.5, A11.4.3.6
$P_k$	porcentaje de humedad característico máximo de los materiales de protección admitido en los cálculos. Carga gravitatoria total por encima de la planta;	45.2, 48.2, 50.2
$P_r$	desviación en el ajuste de tableros ortótropos en el montaje de puentes;	80.4
Q	valor de la acción variable. Fuerza de palanca. Velocidad de liberación del calor;	9.2, 61.2, A8.4.6, A8.6, A8.6.2, A8.7.1

$Q_c$	componente de convección de la velocidad de liberación de calor;	A8.6.2
$Q_{fi,k}$	carga de fuego característica;	A8.4.2
$Q_H^*$	factor adimensional de liberación de calor;	A8.6.2
$Q_k$	valor característico de la acción variable;	42.3
$Q_{k,1}$	valor característico de la acción variable determinante.	13.2, Art. 44°
$Q_{m\acute{a}x}$	valor máximo de la velocidad de liberación de calor;	A8.4.6
$Q_{rad}$	pérdida de energía a través de las aberturas;	A8.7.1
$Q_{wall}$	pérdida de energía por las superficies de contorno;	A8.7.1
$R_d$	valor de cálculo de la respuesta de la estructura;	8.1.2, 15.2
$R_D$	reacciones en los muelles obtenidas en el modelo de viga equivalente, para el dimensionamiento de los diafragmas;	A3.3.3
$R_{D,rigido}$	reacciones en los muelles obtenidas en el modelo de viga equivalente suprimiendo apoyos de rigidez infinita en las secciones donde se ubican los diafragmas;	A3.3.3
$R_{fi,d,0}$	valor de $R_{fi,d,t}$ para $t=0$ , es decir, a temperatura ambiente;	46.8.1, Art. 47°
$R_{fi,d,t}$	resistencias respectivas, suponiendo el elemento sometido a la distribución de temperaturas ( $\theta$ ) en el instante ( $t$ ) del proceso de incendio;	Art. 46°, 46.8.1, A8.5
$RHR_f$	Máxima velocidad de generación de calor producido en 1 m <sup>2</sup> de fuego, en el caso de fuego controlado por el combustible;	A8.4.6
$R_k$	valor característico de la respuesta de la estructura;	15.2
$S$	momento estático del área de la sección transversal por encima del punto considerado. Carrera de tensiones. Factor de sección expresado en m <sup>-1</sup> . Rigidez requerida a cortante de la correa;	34.5, 42.5, 48.1, 48.4, 56.1, 73.11.3
$S_{ch}$	rigidez que proporciona la chapa;	73.11.3
$S_D$	solicitaciones reales sobre los distintos elementos que constituyen el diafragma;	A3.3.3

$S_{D,rígido}$	solicitaciones obtenidas en la hipótesis de diafragmas totalmente rígidos;	A3.3.3
$S_j$	rigidez a rotación de la unión;	57.2, 57.5, 65.2.5
$S_{j,ini}$	rigidez a rotación inicial de la unión;	57.2, 57.4, 57.5, 62.3, 65.2.5
$S_p$	factor de sección del elemento protegido en $m^{-1}$ ;	48.2, 48.4
$S_v$	rigidez a cortante de triangulación utilizada para el enlace o del panel empresillado;	71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2
$T$	espesor de tableros ortótropos para puentes. Temperatura;	80.4, A8.7.1
$T_{c,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección a torsión;	34.6
$T_{Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo torsor. Valor de cálculo del esfuerzo de tracción en el perno;	34.6, 65.2.3
$T_o$	temperatura mínima de servicio a considerar en el lugar de emplazamiento de la estructura;	32.3
$T_{ref}$	temperatura de referencia en el acero;	32.3
$T_{t,Ed}$	componente del esfuerzo torsor correspondiente a la torsión uniforme de Saint-Venant;	34.6
$T_{w,Ed}$	componente del esfuerzo torsor correspondiente a la torsión de alabeo;	34.6
$V$	volumen de acero del elemento por unidad de longitud en $m^3/m$ ;	48.1, 48.2
$V_{0,Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo cortante en el cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$V_{b,Rd}$	resistencia de cálculo frente a abolladura del alma;	35.5.2, 73.10
$V_{bf,Rd}$	contribución de las alas a la resistencia frente a abolladura por cortante del elemento;	35.5.2, 35.5.2.2
$V_{bw,Rd}$	contribución del alma a la resistencia frente a abolladura por cortante del elemento;	35.5.2, 35.7.1
$V_c$	velocidad de cálculo del viento;	38.4
$V_{c,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección a cortante;	34.5, 46.4
$V_{c1,Ed}$	esfuerzo cortante aplicado en la unión por los elementos conectados;	62.1.4

$V_{c2,Ed}$	esfuerzo cortante aplicado en la unión por los elementos conectados;	62.1.4
$V_{Ed}$	valor de cálculo de las acciones verticales totales, en la base del edificio, para la combinación de acciones considerada. Valor de cálculo del esfuerzo cortante;	22.3.1, 34.5, 34.6, 34.7.1, 34.7.3, 35.5.2, 35.7.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 53.2, 56.1, 61.1, 61.2.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 62.1.1, 62.2.2, 71.2.3, 71.2.3.2, A7.2.4, A-9-19
$V_{Ed,G}$	esfuerzos cortantes debidos a las acciones no sísmicas;	53.2
$V_{fi,Ed}$	valor de cálculo del esfuerzo cortante en situación de incendio;	46.4
$V_{fi,t,Rd}$	resistencia de cálculo de una sección de clase 1,2 ó 3 solicitada a cortante, en un instante dado (t) del proceso de incendio;	46.4
$V_i$	coeficiente;	A11.4.1
$V_k$	cortante combinado correspondiente a la planta;	50.2
$V_p$	cortante plástico de la sección de la pieza;	56.1
$V_{pl,0,Rd}$	resistencia plástica a cortante de cálculo en el cordón;	A-9-5, A-9-6, A-9-16
$V_{pl,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a cortante;	34.5, 34.7.1, 34.7.3, 53.2, A-9-19
$V_{pl,T,Rd}$	resistencia de cálculo de la sección frente a esfuerzo cortante y momento torsor;	34.6, 34.7.1
$V_R$	máximo cortante que puede ser transmitido por rozamiento por la placa de base a la cimentación del soporte;	65.2.1
$V_{Rd,w}$	resistencia de la soldadura;	61.6
$V_{Rd1}$	resistencia del alma de la viga a aplastamiento local;	61.5, 61.6
$V_{Rd2}$	resistencia del cordón de soldadura del casquillo de angular;	61.5, 61.6
$V_{Rd3}$	resistencia a cortante del ala del casquillo de angular;	61.5

$V_{wp,Ed}$	esfuerzo a cortante de cálculo en el alma de un pilar sin rigidizar;	62.1.4
$V_{wp,Rd}$	resistencia plástica de cálculo a cortante del alma de un pilar sin rigidizar;	62.1.4, 62.2.2
$V_{y,Ed}$	componente del esfuerzo cortante de cálculo según el eje y;	65.2.1
$V_{z,Ed}$	componente del esfuerzo cortante de cálculo según el eje z;	65.2.1
$W$	módulo resistente. Anchura de la pieza a unir;	35.2.1, 35.2.3, 35.3, 56.1, 59.3.6
$W_{ef}$	módulo resistente de la sección reducida;	20.7, 34.7.2.3, 35.3, 73.9.3, 73.11.3, A6.2, A6.4.1, A6.5
$W_{ef,min}$	módulo resistente elástico mínimo de la sección transversal reducida;	22.3.5, 34.4
$W_{el}$	módulo resistente elástico a flexión;	34.7.2.2, 35.3, 58.9, 73.11.2, A5.2
$W_{el,0}$	módulo resistente elástico del cordón;	64.2
$W_{el,1}$	módulo resistente elástico de la sección del elemento 1;	A-9-2, A-9-3
$W_{el,min}$	módulo resistente elástico mínimo de la sección;	22.3.5, 34.4
$W_{pl}$	módulo resistente plástico de la sección;	22.3.5, 34.4, 34.7.1, 35.3, 73.11.2
$W_{pl,1}$	módulo resistente plástico de la sección del elemento 1;	A-9-11
$Z$	estricción expresada en porcentaje;	26.2, 26.5.2

### **A1.1.2 Minúsculas romanas**

a	valor de los datos geométricos. Dimensión. Coeficiente. Distancia entre rigidizadores transversales. Espesor de garganta de soldadura. Dimensión mayor en planta del apoyo de neopreno. Distancia mínima permitida entre secciones o entre una sección y una superficie adyacente. Longitud de la chapa con o sin rigidizadores. Distancia entre rigidizadores transversales ; Coeficiente de	16.1, 18.2.5, 34.7.2.1, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.9.3.3, 59.7, 59.8.2, 59.9.2, 59.10, 61.2, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 64.3, 64.8, 66.1,
---	---	--

	contribución social de la estructura a la sostenibilidad	71.2.3.1, 71.2.3.2, 80.2, 92.2, A6.3, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3, A6.5, A11.5
$a_1, a_2$	longitudes de los paneles adyacentes al rigidizador transversal;	A7.2.1
$a_1, a_2, \dots, a_5$	coeficientes individuales de contribución social de la estructura a la sostenibilidad;	A11.5, A11.6.1
$a_b$	espesor de garganta de la unión de las alas de la viga a la del soporte;	62.1.1, 62.1.2
$a_c$	espesor de garganta de los cordones de la unión ala-alma del soporte. Longitud de pandeo de la columna equivalente;	62.1.1, 62.1.2, 62.2.1
$a_d$	valor de cálculo de datos geométricos;	16.1
$a_f$	coeficiente;	34.7.2.1
$a_i$	espesor de garganta de uno de los cordones de soldadura en la unión;	60.1.1
$a_k$	valor característico de datos geométricos;	16.1
$a_{LT}$	coeficiente;	35.3
$a_{nom}$	valor nominal de datos geométricos;	16.1
$a_{st}$	área de la sección transversal bruta, por unidad de longitud, de los rigidizadores situados en la zona de afección de la carga bajo la platabanda, para el caso de la aplicación de cargas localizadas en el plano del alma de una sección;	21.6
$a_w$	coeficiente;	34.7.2.1
$b$	dimensión. Anchura de la sección. Doble de la altura del panel (o subpanel) comprimida. Anchura del cordón de soldadura. Anchura de la ranura. Distancia entre tornillos. Menor dimensión de la placa de base. Dimensión menor en planta del apoyo de neopreno. Ancho de la pletina o banda soldada. Anchura de la chapa con o sin rigidizadores. Coeficiente. Coeficiente de contribución de la estructura a la sostenibilidad por extensión de la vida útil;	18.2.5, 20.7, 21.4, 34.5, 35.1.2, 35.2.2, 35.2.2.1, 40.2, 42.6, 48.1, 48.2, 58.9, 59.3.4, 59.5, 60.3, 61.3, 61.5, 65.2.1, 66.1, 73.5, 73.6, 73.13.5.1, 80.2, 80.3, A6.3, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.5, A7.2.1, A8.5, A8.6.1, A11.5

b <sub>0</sub>	anchura de la zona volada de elementos lineales a efectos del arrastre por cortante. Anchura del perfil rectangular hueco. Anchura del cordón. Ancho de la chapa entre rigidizadores longitudinales;	21.1, 21.3.2, 21.3.5, 21.4, 21.5, 34.1.2.5, 42.6, 64.2, 64.7.1, 64.7.2.1, 64.8, 64.9, A7.2.3, A-9-7, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-13, A-9-14, A-9-15, A-9-17, A-9-18, A-9-19
b <sub>1</sub>	longitud de la segunda pieza a unir en la unión en ángulo. Anchura del perfil hueco de la diagonal o montante 1. Anchura del ala. Dimensión. Distancia entre rigidizadores o entre el rigidizador y el borde de la chapa o columna equivalente;	59.3.4, 64.7.2.1, 64.9, 80.2, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A-9-2, A-9-3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-17, A-9-18, A-9-19
b <sub>1e</sub>	anchura eficaz para alas exteriores a efectos del arrastre por cortante;	21.3, 21.4
b <sub>2</sub>	anchura del perfil hueco de la diagonal o montante 2. Anchura del ala. Dimensión. Distancia entre rigidizadores o entre el rigidizador y el borde de la chapa o columna equivalente;	64.7.2.1, 80.2, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-17, A-9-19
b <sub>3</sub>	dimensión. Distancia entre rigidizadores o entre el rigidizador y el borde de la chapa. Anchura del perfil hueco de la diagonal o montante 3;	80.2, A6.4.1, A-9-12
b <sub>4</sub>	dimensión;	80.2
b <sub>b</sub>	ancho de las alas de la viga;	62.1.1
b <sub>c</sub>	ancho de las alas del soporte. Ancho de la parte comprimida del elemento o subpanel;	62.1.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3
b <sub>c,loc</sub>	Ancho de la parte comprimida de cada subpanel;	A6.4.1
b <sub>e</sub>	anchura eficaz para alas interiores a efectos del arrastre por cortante;	21.3, 21.4, 21.6
b <sub>e,f</sub>	ancho eficaz del ala del pilar a flexión;	62.1.1, 62.3
b <sub>e,ov</sub>	anchura eficaz de la barra de relleno que recubre en la conexión a a barra de relleno recubierta;	A-9-7, A-9-17, A-9-19
b <sub>e,p</sub>	ancho eficaz de la chapa frontal a flexión. anchura eficaz a punzonamiento;	62.3, A-9-8, A-9-9, A-9-10

$b_{ef}$	anchura eficaz del ala de la viga. Ancho eficaz de la región de hormigón bajo un ala comprimida del pilar. Anchura reducida en paneles interiores comprimidos;	62.1.1, 62.1.2, 65.2.2, 65.2.5, 73.9.2
$b_{eff}$	anchura eficaz de la barra de relleno en la conexión al cordón;	64.8, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-18, A-9-19
$b_{eff,t,wb}$	anchura eficaz del alma de la viga a tracción en una unión atornillada con chapa frontal;	61.2.1
$b_f$	anchura del ala que conduce a la resistencia más baja frente a la abolladura por cortante;	35.5.2.2, 35.6
$b_{fal}$	longitud total, no interrumpida, del faldón en la estructura de fachada o cubierta;	73.11.3
$b_g$	longitud del rigidizador transversal entre alas;	A7.2.4
$b_i$	anchura de la diagonal o montante i;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.7.2.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$b_j$	anchura de la diagonal o montante j;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-17, A-9-19
$b_p$	anchura recta, longitud de cada elemento plano en piezas de sección uniforme formadas por elementos planos y acuerdos curvos de pequeño radio. Anchura de la placa;	73.5, 73.9.1, 73.9.2, A-9-14, A-9-15
$b_s$	semiancho de ala en secciones cerradas u omegas, ancho en secciones Z o C, para elementos sometidos a flexión de alas anchas en comparación con el canto;;	73.7, 73.8
$b_w$	anchura eficaz del alma del cordón;	A-9-17, A-9-18
$c$	anchura o longitud de una parte de la sección transversal. Distancia del anclaje del campo diagonal de tracciones. Dimensión. Holgura. Canto útil. Calor específico;	20.3, 35.5.2.2, 35.6, 48.2, 58.9, 59.9.2, 61.6, 65.2.2, 65.2.4, 73.6, A8.5, A8.6.1, A8.7.1
$c_a$	calor específico en $J/(kg^{\circ}K)$ , variable con la temperatura ( $\theta_a$ );	45.1, 48.1

$C_p$	calor específico convencional;	45.2, 48.3
$C_{pd}$	valor de cálculo del calor específico del revestimiento;	48.2, 48.3
$C_{pk}$	valor característico del calor específico del revestimiento;	48.3
$d$	dimensión. Diámetro nominal del tornillo, bulón o elemento de fijación. Distancia. Longitud de la diagonal. Diámetro de una barra. Diámetro del apoyo de neopreno circular;	18.2.5, 20.3, 29.3, 29.4, 42.6, 58.3, 58.6, 58.9, 60.1.2, 61.1, 61.2, 61.2.1, 61.6, 62.1.4, 62.2.2, 62.4.3, 64.2, 64.4, 66.1, 71.2.3.1, 72.4.3, 73.6, 76.7.1, 76.7.3
$d_0$	diámetro del agujero. Diámetro del perfil circular hueco. En las uniones soldadas entre perfiles huecos de sección circular SHC, diámetro del cordón;	34.1.2.2, 42.6, 58.4, 58.5.2, 58.6, 58.9, 64.2, 64.4, 64.6.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-5
$d_1$	diámetro del perfil hueco de la diagonal o montante 1;	64.7.2.1, A-9-1, A-9-4, A-9-5, A-9-7, A-9-9, A-9-15, A-9-17, A-9-19
$d_2$	diámetro del perfil hueco de la diagonal o montante 2;	64.7.2.1, A-9-1, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-15
$d_3$	diámetro del perfil hueco de la diagonal o montante 3;	A-9-5
$d_c$	parte recta del alma de un pilar;	62.3
$d_i$	diámetro del perfil hueco de la diagonal o montante $i$ ;	64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-1
$d_j$	diámetro del perfil hueco de la diagonal o montante $j$ ;	64.7.1
$d_k$	desplazamiento relativo entre la cabeza y pie de los soportes de la planta considerada;	50.2
$d_{LT}$	coeficiente;	35.3
$d_m$	menor diámetro medido entre los círculos circunscrito e inscrito a la tuerca o a la cabeza;	58.7
$d_p$	espesor del material de protección. Diámetro	48.2, 48.4,

	perimetral en una soldadura de arco por puntos;	73.13.5.1
$d_s$	diámetro de cálculo de un punto de soldadura;	73.13.4
$d_t$	longitud de la diagonal sometida a un esfuerzo axial de tracción $N_t$ ;	72.4.3
$d_w$	diámetro de la arandela o de la ranura de la cabeza del tornillo o tuerca, según corresponda. Canto del alma de un cordón de sección I o H. Diámetro superficial en una soldadura de arco por puntos;	61.2, 64.8, 73.13.5.2
$d_{wc}$	canto del alma del pilar;	62.1.4, 62.4.3
$e$	distancia entre centros de rigidizadores. Distancia. Espesor. Distancia de la soldadura de unión cartela-perfil al centro de gravedad de éste. Excentricidad en el nudo. Mayor de las distancias existentes entre el centro de gravedad de la sección reducida del rigidizador y de la parte correspondiente de placa colaborante y el centro de gravedad de la placa o el centro de gravedad de la sección bruta del rigidizador exclusivamente. Distancia máxima desde la cara inferior del ala del rigidizador transversal al eje neutro de la sección neta del rigidizador + chapa;	35.9.3.1, 58.3, 59.5, 60.3, 61.2, 61.5, 62.2.1, 64.2, 73.13.4, A6.4.2.1, A6.4.3, A7.2.4
$e_0$	amplitud de la imperfección (flecha del arco) de un elemento;	22.3.2, 22.3.3, 22.3.4.1, 22.3.4.2, 22.3.5, 22.4, 22.4.1, 22.5, 71.1, 71.2.3
$e'_0$	escalado aplicado al conjunto de la deformada del modo crítico de pandeo global que permite obtener la excentricidad inicial $e_0$ ;	22.3, 22.3.5, 22.4
$e_{0/p}$	excentricidad de alabeo;	42.6
$e_1$	distancia desde el centro del agujero del elemento de fijación hasta el extremo adyacente de cualquier elemento, medido en la dirección de transferencia de la carga. Distancia, medida en la dirección del eje del pilar, desde la fila de tornillos superior al extremo del pilar;	42.6, 58.4, 58.6, 62.2.1, 73.13.4
$e_2$	distancia de borde desde el centro del agujero del elemento de fijación hasta el borde adyacente de cualquier elemento, medido perpendicularmente a la dirección de transferencia de carga;	42.6, 58.4, 58.5.2, 58.6, 73.13.4
$e_{m\acute{a}x}$	máxima distancia de la fibra externa del rigidizador al centro de gravedad de éste;	A7.2.1
$e_n$	espesor total del neopreno en el apoyo;	66.1

$e_N$	desplazamiento del centro de gravedad del área de la sección reducida con respecto al centro de gravedad de la sección transversal bruta. Excentricidad de la posición del eje neutro de la sección reducida eficaz respecto del eje neutro de la sección bruta bajo la actuación de un esfuerzo axial de compresión;	20.7, 34.1.2.4, 34.7.2.3, 35.3, 35.7.1, 35.7.2, A6.5
$f$	coeficiente de modificación para $\chi_{LT}$ ;	35.2.2.1
$f_0$	frecuencia del primer modo de vibración vertical, considerando únicamente las cargas permanentes;	38.3
$f_{0,2p,\theta}$	resistencia de cálculo en situación de incendio correspondiente a una deformación del 0,2 %.	46.7
$f_b$	resistencia a pandeo de la cara lateral del cordón;	A-9-8
$f_{bv}$	resistencia a la abolladura por tensión tangencial;	73.10
$f_{ck}$	resistencia característica del hormigón de la cimentación;	65.2.2
$f_d$	presión del fuste contra el hormigón en la unión del soporte a la cimentación;	65.3
$f_j$	valor de la presión contra el hormigón de la placa de base;	65.2.3, 66.2
$f_{jd}$	resistencia máxima del hormigón de la cimentación del soporte;	65.2.2
$f_M$	componente de la flecha debida a flexión;	67.2.1.2
$f_{p,\theta}$	límite de proporcionalidad para la temperatura ( $\theta_a$ );	45.1
$f_r$	frecuencia fundamental de torsión de la estructura;	38.4
$f_u$	carga unitaria máxima a tracción o resistencia a la tracción;	26.2, 26.3, 26.5.2, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 27.3, 34.2, 34.4, 58.5.1, 58.5.2, 58.6, 58.7, 59.8.2, 59.10, 60.1.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 73.4, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2
$f_{ub}$	resistencia a la tracción del acero utilizable en tornillos y bulones;	29.2, 29.4, 58.6, 58.7, 58.8, 65.2.1
$f_{ub}$	resistencia última a tracción en tornillos o bulones;	58.1, 58.6, 58.7,

		62.1.1, 62.4.3, 76.7
$f_{up}$	resistencia a tracción del acero del bulón;	58.9
$f_{uw}$	resistencia última del material del electrodo;	73.13.5.2
$f_v$	componente de la flecha debida a cortante;	67.2.1.2
$f_y$	límite elástico;	20.3, 22.3.2, 24.3.1, 26.2, 26.3, 26.5.2, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 27.3, 32.2, 32.3, 34.1.1, 34.2, 34.3, 34.4, 34.6, 34.7.1, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 34.7.3, 35.1.1, 35.1.2, 35.1.3, 35.1.4, 35.2.1, 35.2.3, 35.3, 35.5.1, 35.7.1, 35.7.2, 41.2, 42.3, 45.1, 46.1, 46.2, 46.3, 46.5, 46.7, 56.1, 58.2, 58.5.1, 58.9, 60.2.1, 60.3, 61.2, 61.5, 61.6, 62.1.4, 62.4.3, 64.2, 65.2.2, 66.2, A3.3.1, A3.2.2, A5.2, A6.4.2, A6.4.3, A6.5, A7.2.1
$f_{y,0}$	límite elástico del acero del cordón;	64.2, 64.8
$f_{y,red}$	valor reducido del límite elástico del acero;	66.2
$f_{y,\theta}$	límite elástico efectivo para la temperatura ( $\theta_a$ );	45.1
$f_{y0}$	límite elástico del acero del cordón;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$f_{y1}$	límite elástico del acero de la diagonal o montante 1;	A-9-10, A-9-11, A-9-17, A-9-18
$f_{ya}$	límite elástico promedio del acero del perfil o de la chapa conformada en frío;	73.4, 73.11.1, 73.11.4

$f_{yb}$	límite elástico del acero utilizable en tornillos y bulones. Límite elástico del acero del ala de la viga. Límite elástico básico del acero del perfil o de la chapa conformada en frío;	29.2, 29.4, 46.7, 58.1, 62.1.1, 65.2.1, 73.4, 73.9.2, 73.9.3, 73.10, 73.11.1, 73.11.4
$f_{ybp}$	límite elástico de las chapas de refuerzo;	61.2
$f_{yc}$	límite elástico del acero del ala del soporte;	62.1.1, 62.1.2
$f_{yf}$	límite elástico del acero de las alas. Límite elástico del acero del ala comprimida;	35.5.2.2, 35.6, 35.8
$f_{yi}$	límite elástico del acero de la diagonal o montante i;	64.8, A-9-7, A-9-9, A-9-17, A-9-19
$f_{yj}$	límite elástico del acero de la diagonal o montante j;	A-9-7, A-9-8
$f_{yk}$	límite elástico característico del acero;	32.1, A7.2.4, A-9-11
$f_{yp}$	límite elástico del acero del bulón. Límite elástico del acero de la chapa;	58.9, A-9-14
$f_{yw}$	límite elástico del acero del alma;	35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.2, 35.9.3.3, 35.9.3.5
$f_{ywb}$	límite elástico del acero del alma de la viga a tracción en una unión atornillada con chapa frontal;	64.2.1
$f_{ywc}$	límite elástico del acero del alma del pilar sin rigidizar;	62.1.4
$g$	espaciamiento entre las barras de relleno de una unión en K o N, medido sobre la cara de conexión del cordón, entre barras de relleno adyacentes, excluyendo las soldaduras (valores negativos de $g$ representan un recubrimiento $q$ );	42.6, 64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, A-9-1, A-9-6, A-9-9, A-9-15
$g_1$	distancia desde la cara exterior de la diagonal o montante a la cara del cordón;	64.4
$g_2$	distancia desde la cara interior de la diagonal o montante a la cara del cordón;	64.4
$h$	dimensión. Altura. Altura de la estructura. Canto de la sección. Altura real del soporte. Distancia. Espesor de la zapata. Altura de la correa. Altura entre plantas. Distancia máxima accesible para un operario en un espacio estrecho;	20.3, 22.3.1, 34.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.2.2, 35.2.2.1, 35.2.3, 37.2.2, 48.2, 61.1, 61.2.1, 61.3, 62.1.5,

		65.2.3, Art. 67°, 73.5, 73.6, 73.11.3, 80.2, 80.3, 92.2
$h_0$	canto del perfil rectangular hueco. Canto del cordón. Distancia entre los centros de gravedad de los cordones del elemento compuesto;	42.6, 64.2, 64.7.1, 71.2.3, 71.2.3.1, 71.2.3.2, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-13, A-9-18, A-9-19
$h_1$	altura de la parte recta del alma del soporte. Altura entre plantas. Canto de la diagonal o montante 1;	62.1.2, 80.3, A-9-2, A-9-3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$h_2$	altura entre plantas. Canto de la diagonal o montante 2;	80.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-19
$h_3$	altura entre plantas. Canto de la diagonal o montante 3;	80.3, A-9-12
$h_b$	canto de la viga;	62.4.2
$h_c$	canto del soporte;	62.1.4, 62.4.2
$h_{ef}$	altura eficaz del alma;	62.1.2, 62.2, 62.3
$h_{eq}$	media ponderada de altura de las aberturas de todos los muros;	A8.6.1, A8.4.6
$h_i$	canto de la diagonal o montante i;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$h_j$	canto de la diagonal o montante j;	64.2, 64.6.1, 64.8, A-9-7, A-9-17, A-9-19
$h_k$	altura entre plantas;	50.2
$h_p$	altura de la planta considerada;	23.2.1
$h_r$	distancia entre la fila de tornillos r y el centro de compresión;	62.3
$h_s$	altura del rigidizador incluyendo el espesor de la chapa;	A7.2.4

$h_w$	altura del alma. Distancia entre puntos medios extremos del alma, medida en vertical para perfiles o chapas conformados en frío. Altura del nervio;	34.5, 34.7.1, 34.7.2.1, 35.5.1, 35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.1, 35.8, 35.9.3.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 35.9.4, 73.10, 73.11.3, A6.4.2.1
$\dot{h}$	flujo de calor recibido por radiación en la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo;	A8.6.2
$\dot{h}_1, \dot{h}_2 \dots$	flujos térmicos recibidos por unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo para diferentes fuegos localizados separados;	A8.6.2
$\dot{h}_{net}$	flujo neto de calor que incide sobre la unidad de superficie expuesta al fuego del elemento;	A8.2.2, A8.6.2, A8.7.1
$\dot{h}_{net,c}$	componente de convección del flujo térmico por unidad de superficie;	A8.2.2
$\dot{h}_{net,d}$	flujo neto de calor por unidad de área, en $W/m^2$ ;	48.1
$\dot{h}_{net,r}$	componente de radiación del flujo neto de calor por unidad de superficie;	A8.2.2
$\dot{h}_{tot}$	flujo térmico total calculado como suma de $\dot{h}_1, \dot{h}_2 \dots$ , etc.;	A8.6.2
$i$	radio de giro;	35.1.3, 61.2, 62.3, A6.4.3
$i_{t,z}$	radio de giro del ala comprimida equivalente respecto al eje débil de la sección;	35.2.3
$i_{min}$	radio de giro mínimo;	Art. 70°, 70.5, 71.1
$k$	coeficiente. Coeficiente de utilización;	35.8, 57.4, 73.4, 91.2.2.5, A8.6.1
$k_{0,2p,0}$	cociente entre la resistencia a temperatura elevada y el límite elástico a 20 °C;	46.7
$k_1$	factor de mayoración de las carreras de tensión nominales en estructuras trianguladas para tener en cuenta el efecto de los momentos flectores secundarios. Factor de adaptación para distribuciones de temperatura no uniformes en la sección transversal;	42.5, 46.4
$k_2$	factor de adaptación para distribuciones de	46.4

	temperatura no uniformes a lo largo de la viga;	
$k_{at}$	rigidez de cada fila de pernos en la base;	65.2.5
$k_b$	rigidez de una fila de tornillos a tracción. Factor de conversión;	62.3, A8.5
$k_c$	factor de corrección;	A8.5
$k_c$	coeficiente de corrección de la esbeltez para considerar la distribución de momentos entre puntos de arriostramiento. Rigidez proporcionada por el hormigón y la placa de base a compresión;	35.2.2.1, 35.2.3, 65.2.5
$k_{E,\theta}$	cociente entre el módulo de elasticidad en la fase lineal del diagrama tensión-deformación, para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el módulo de elasticidad a 20 °C;	45.1, 46.3, 46.6
$k_{eff,r}$	coeficiente de rigidez efectivo para la fila de tornillos r;	62.3
$k_{eq}$	coeficiente de rigidez equivalente;	62.3
$k_F$	coeficiente de abolladura;	35.6
$k_f$	rigidez del ala del pilar a flexión, correspondiente a una fila de tornillos;	62.3
$k_{fl}$	factor de corrección;	35.2.3
$k_g$	coeficiente;	64.6.2, A-9-1
$k_h$	coeficiente reductor para la altura h de la estructura	22.3.1
$k_j$	rigidez de cada componente básico;	62.3
$k_m$	coeficiente;	22.3.1, 22.4, 22.4.1, A-9-10
$k_n$	coeficiente;	64.7.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-11
$k_p$	rigidez de la chapa frontal a flexión, correspondiente a una fila de tornillos. Coeficiente. Rigidez de la placa de base a flexión;	62.3, 64.6.3, 65.2.5, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4,
$k_{p,\theta}$	cociente entre el límite de proporcionalidad para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el límite elástico a 20 °C;	45.1
$k_s$	factor de minoración de la resistencia a fatiga por efecto del tamaño. Factor empleado para el cálculo de la resistencia a deslizamiento de un tornillo;	42.6, 58.8
$k_{sh}$	coeficiente para el cálculo de temperaturas en el acero en elementos sin protección;	48.1

$k_{wc}$	rigidez del alma del pilar a compresión;	62.3
$k_{wc}$	coeficiente que tiene en cuenta la máxima tensión de compresión $\sigma_{n,Ed}$ existente en el alma del soporte, originada por el esfuerzo axial y el momento flector de cálculo a que esté sometido el soporte en su unión a la viga;	62.1.2
$k_{wt}$	rigidez del alma del pilar a tracción;	62.3
$k_{wv}$	rigidez del alma del pilar a cortante;	62.3
$k_{zz}$	coeficiente de interacción;	35.3
$k_{zy}$	coeficiente de interacción;	35.3
$k_{\gamma}$	coeficiente adimensional;	22.3.5
$k_{\gamma,\theta}$	cociente entre el límite elástico efectivo para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el límite elástico a 20 °C;	45.1, 46.2, 46.3, 46.4, 46.6
$k_{\gamma,\theta,com}$ , $k_{E,\theta,com}$	coeficientes de corrección obtenidos en 45.1 con la temperatura máxima de la zona comprimida de la sección ( $\theta_{a,com}$ ) en el instante (t) del proceso de incendio considerado;	46.5
$k_{\gamma,\theta,i}$	cociente entre el límite elástico efectivo para la temperatura ( $\theta_a$ ) y el límite elástico a 20 °C para la partición de una sección en elementos de área $A_i$ ;	46.2
$k_{\gamma,\theta,v}$	valor que corresponde a $\theta_v$ ;	46.4
$k_{\gamma y}$	coeficiente de interacción;	35.3
$k_{\gamma z}$	coeficiente de interacción;	35.3
$k_{\sigma}$	coeficiente de abolladura del panel. coeficiente de pandeo transversal o de alabeo;	20.7, 40.2, 73.9.2
$k_{\sigma,p}$	coeficiente de abolladura del panel rigidizado;	A6.4.2.1
$k_{\tau}$	coeficiente de abolladura por cortante;	35.5.1, 35.5.2.1, 35.9.3.3, 40.2, 73.10
$l$	longitud;	22.3.4.1, 22.3.4.2, 42.6, 60.2, 66.2, A7.2.4
$l_{eff}$	longitud eficaz de la región de hormigón bajo un ala comprimida del pilar;	65.2.2, 65.2.5
$l_{eff}$	longitud eficaz de la soldadura en ángulo o de una unión atornillada;	61.2, 62.2.1

$l_0$	longitud de pandeo;	22.3.4.2
$l_p$	longitud de la placa de ala;	A-9-14, A-9-15
$l_y$	longitud efectiva de carga;	35.6
$m$	número de alineaciones de elemento comprimidos en el plano de pandeo considerado. Masa por unidad de longitud de la estructura en Kg/m. Inversa de la pendiente de la curva de resistencia a fatiga. Distancia. Distancia correspondiente del tornillo a la línea de formación de la rótula plástica correspondiente. Coeficiente de combustión;	22.3.1, 38.4, 42.2, 58.4, 61.2, 62.2.1, 62.3, 65.2.5, A8.4.1, A8.4.5, A8.4.6, A8.7.1
$m(z)$	ley de distribución de momentos torsores exteriores a lo largo del eje longitudinal de la viga cajón unicelular simétrica;	A3.3.1
$m_1$	coeficiente adimensional;	35.6
$m_2$	coeficiente adimensional;	35.6
$\dot{m}$	velocidad de variación de masa de gas;	A8.7.1
$\dot{m}_{fi}$	masa de los productos generados por la pirólisis en la unidad de tiempo;	A8.7.1
$m_i$	parámetro;	A11.4.1
$\dot{m}_{in}$	masa de aire que entra por las aberturas en la unidad de tiempo;	A8.7.1
$\dot{m}_{out}$	masa de gas que sale por las aberturas en la unidad de tiempo;	A8.7.1
$n$	número entero. Coeficiente. Número de agujeros extendidos en cualquier diagonal o línea de zig-zag a través del elemento o parte de él. Número de tornillos de la unión. Distancia. Número de planos de triangulación. Número de planos de presillas. Número de pliegues de la sección de 90°. valor $(\sigma_{0,Ed} / f_{y,0}) / \gamma_{M5}$ utilizado para cordones SHR;	21.1, 21.6, 34.1.2.2, 34.7.2.1, 58.5.1, 58.6, 58.8, 60.1.2, 60.2.2, 61.2, 61.3, 70.4, 71.2.3.1, 71.2.3.2, 73.4, 80.3, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11
$n_b$	número de filas de tornillos;	61.2
$n_i$	número de ciclos de carga ( $i = 1, 2 \dots n$ ). Parámetro;	42.6, A11.4.1
$n_p$	valor $(\sigma_{p,Ed} / f_{y,0}) / \gamma_{M5}$ utilizado para cordones SHC;	A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4

$n_{pl}$	coeficiente;	35.3
$p$	distancia entre centros de dos agujeros consecutivos medida perpendicularmente al eje del elemento. En juntas K, N o similares, longitud de la intersección de la diagonal o montante solapada con el cordón, medida a lo largo de la cara del mismo en el plano de la unión;	34.1.2.2, 64.2
$p(z)$	carga vertical aplicada según el eje longitudinal de la viga cajón;	A3.3.1
$p_1$	distancia entre los centros de los elementos de fijación en línea con la dirección de la transmisión de la carga;	42.6, 58.4, 58.6, 73.13.4
$p_{i,1}$ a $p_{i,4}$	porcentajes;	A11.4.3.1 a A11.4.3.4
$p_{i,5}$	coeficiente;	A11.4.3.5
$p_2$	distancia entre filas adyacentes de elementos de fijación medida en dirección perpendicular a la dirección de transmisión de la carga;	42.6, 58.4, 58.6, 73.13.4
$q$	fuerza equivalente de estabilización por unidad de longitud. En juntas K, N o similares, longitud teórica de solape, medida a lo largo de la cara del cordón en el plano de la unión. Carga lateral uniformemente repartida;	22.4.1, 42.6, 64.2, A7.2.1, A-9-1
$q_{fd}$	valor de cálculo de la carga de fuego;	A8.4.1, A8.6.1
$q_{fk}$	Densidad de carga de fuego característica por unidad de superficie de suelo;	A8.4.1
$q_{td}$	valor de cálculo del sistema de fuerzas transversales equivalente a la curvatura inicial en elementos comprimidos. Valor de cálculo de la densidad de carga al fuego referida a la superficie total $A_t$ del contorno del sector;	22.3.3, A8.6.1
$r$	radio de acuerdo. Radio de curvatura del ala comprimida. Radio de giro másico. Referencia a una fila de tornillos. Radio de la esfera del apoyo. Distancia horizontal entre el eje vertical del fuego y el punto del techo para el que se calcula el flujo de calor;	34.5, 35.8, 38.4, 42.6, 61.2, 61.2.1, 61.5, 61.6, 62.3, 66.2, A8.6.2, A-9-17, A-9-18
$r_0$	radio de acuerdo ala-alma del cordón de sección I o H;	64.9
$r_c$	radio de acuerdo ala-alma del soporte, supuesto que éste sea laminado;	62.1.1, 62.1.2, 62.2.1

$r_{p,ef}$	resistividad térmica efectiva;	45.2, 48.4
$r_{p,ef,d}$	resistencia térmica efectiva de cálculo del revestimiento;	Art. 47°, 48.2, 48.3
$r_{p,ef,k}$	resistencia térmica efectiva característica del revestimiento;	Art. 47°, 48.2, 48.3, 48.4
s	longitud del arco. Distancia entre centros de dos agujeros consecutivos medida paralelamente al eje del elemento. Valor obtenido como $s=S_p/r_{p,ef}$ . Longitud del lado en una sección del cordón de una soldadura en ángulo. Distancia entre enlaces en soportes simples unidos entre si mediante forros de chapa. Separación entre correas. Distancia. Espesor de la capa directamente expuesta al fuego;	22.3.4.1, 34.1.2.2, 48.4, 59.8, Art. 70°, 73.11.3, A7.2.1, A8.6.1
$s_1$	separación entre ranuras;	59.5
$s_2$	separación entre filas de ranuras;	59.5
$s_d$	longitud de desarrollo del alma en perfiles y chapas conformados en frío;	73.10
$s_e$	longitud de la zona de difusión de la carga localizada en la sección de contacto ala-alma, para el caso de la aplicación de cargas localizadas en el plano del alma de una sección;	21.6
$s_{lim}$	espesor límite;	A8.6.1
$s_p$	longitud recta de la mayor fracción del alma en perfiles y chapas conformados en frío;	73.10
$s_s$	longitud de la zona de aplicación de la carga localizada sobre la platabanda del ala, para el caso de la aplicación de cargas localizadas en el plano del alma de una sección. Longitud del ala sobre la que se aplica la carga;	21.6, 35.6
$s_w$	longitud recta total del alma en perfiles y chapas conformados en frío;	73.10
t	espesor del elemento. Tiempo de incendio. Espesor de la pieza más delgada a unir. Espesor de cada una de las capas de neopreno del apoyo;	18.2.5, 20.7, 21.4, 27.1, 27.2.1, 27.2.2, 27.2.3, 27.2.4, 28.1, 32.3, 32.3, 34.1.2.2, 34.1.2.5, 34.5, 34.7.2.1, 35.9.1, 40.2, 42.6, Art. 46°, 46.3, 46.4, 46.5, 46.6, 46.8, 46.8.1, 46.8.2, Art.

		47°, 48.1, 48.4, 58.4, 58.5.2, 58.6, 58.7, 59.3.4, 59.3.6, 59.5, 59.9.2, 60.3, 61.2, 61.5, 61.6, 62.4.3, 64.2, 65.2.2, 65.2.5, 66.1, 73.4, 73.6, 73.7, 73.9.2, 73.10, 73.11.3, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2, 76.7.3, A3.2.2, A3.3.1, A6.4.1, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3, A8.3.1, A8.3.2, A8.3.3, A8.4.6, A8.5, A8.6.1, A8.7.1, A-9-13
$t_0$	espesor del perfil hueco. Espesor del perfil hueco del cordón;	42.6, 64.2, 64.4, 64.6.1, 64.7.2.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-14, A-9-15, A-9-19
$t_1$	espesor de la segunda pieza a unir en la unión en ángulo. Espesor de la chapa de refuerzo. Espesor de la diagonal o montante 1;	59.3.4, 62.2.1, 64.2, 64.4, 64.6.1, 64.7.1, 64.9, 73.13.4, A-9-1, A-9-2, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-15, A-9-17, A-9-18
$t_2$	espesor de la diagonal o montante 2. Espesor del forro;	64.2, 64.6.1, 64.7.1, 64.9, 73.13.5.2, A-9-1, A-9-9, A-9-15, A-9-17
$t_a$	espesor del acero en un tubo pequeño en relación a su perímetro;	48.1
$t_{bp}$	espesor de las chapas de refuerzo;	61.2
$t_c$	espesor del refuerzo del cordón;	42.6
$t_{cor}$	espesor de cálculo del perfil o estructura ligera de acero;	73.3
$t_d$	espesor de la chapa del diafragma;	A3.3.3

$t_{e,d}$	tiempo equivalente de exposición al fuego normalizado;	A8.2.1, A8.5
$t_f$	espesor del panel de chapa comprimida. Espesor del ala. Espesor del forro;	20.3, 34.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.2.3, 35.5.2.2, 35.6, 48.1, 58.6, 59.8.2, 61.2, 61.5, 61.6, 64.2, 64.8, 65.2.2, A-9-17, A-9-18
$t_{fb}$	espesor del ala de la viga conectada;	61.2.1, 62.1.2, 62.1.4, 62.1.5
$t_{fc}$	espesor del ala del soporte;	62.1.1, 62.1.2, 62.1.4, 62.3
$t_{fi,nom}$	duración expresada en minutos de fuego normalizado;	A8.2.1, A8.5
$t_{fi,requ}$	tiempo de resistencia ante el fuego normalizado exigible a la estructura;	Art. 46°, 48.3, 48.4, A8.1
$t_g$	vida útil realmente contemplada en el proyecto para la estructura dentro de los rangos contemplados en esta Instrucción;	A11.5
$t_{g,min}$	valor de la vida útil establecido en el apartado 5.1 de esta Instrucción	A11.5
$t_i$	espesor de pared del elemento $i$ ( $i = 1, 2$ ó $3$ ). Espesor de pared del perfil hueco de la diagonal o montante $i$ ;	42.6, 64.6.1, 64.7.1, 64.8, 64.9, A-9-7, A-9-8, A-9-10, A-9-17, A-9-19, A-9-19
$t_j$	espesor de pared del perfil hueco de la diagonal o montante $j$ ;	A-9-7, A-9-17, A-9-19
$t_{lim}$	tiempo límite de desarrollo del fuego;	A8.6.1
$t_{máx}$	tiempo correspondiente a la temperatura máxima;	A8.6.1
$t_{mc}$	espesor nominal del perfil o estructura ligera de acero;	73.3
$t_{min}$	espesor mínimo de la chapa. Espesor de la pieza más delgada a unir;	58.7, 59.3.2, 59.3.7, A7.2.4
$t_{nom}$	espesor del galvanizado;	73.3, A8.1,
tol	tolerancia;	73.3

$t_p$	espesor de la chapa frontal. Espesor de la placa de ala;	62.3, A-9-13, A-9-14, A-9-15
$t_r$	espesor de los rigidizadores;	62.1.3
$t_{sup}$	espesor de chapa afectada a efectos de la capacidad de extracción de un tornillo roscachapa. Espesor de la chapa soporte en una soldadura de arco por puntos;	73.13.3, 73.13.5.2
$t_{ti,d}$	valor de cálculo de la resistencia al fuego normalizado de los elementos;	A8.5
$t_w$	espesor del alma;	20.3, 21.6, 34.5, 34.7.1, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.5.1, 35.5.2, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.7.2, 35.8, 35.9.3.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 59.8.2, 61.2, 61.4, 61.5, 61.6, 62.1.3, 62.1.4, 62.4.3, 64.8, 64.9, 65.2.2, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$t_{wb}$	espesor del alma de la viga a tracción en una unión atornillada con chapa frontal;	61.2.1
$t_{wc}$	espesor del alma del soporte;	62.1.1, 62.1.2, 62.1.3, 62.1.4, 62.3
$t_\alpha$	tiempo necesario para alcanzar una velocidad de liberación de calor de 1MW.	A8.4.6
$u$	flecha horizontal total del edificio o estructura de altura H. Combadura de alas en elementos sometidos a flexión de alas anchas en comparación con el canto. Humedad del material, en porcentaje del peso en estado seco;	37.1, 37.2.2, 73.7, A8.4.4
$u_i$	flecha horizontal, relativa entre cotas del forjado, de cada nivel o planta de altura $H_i$ ;	37.1, 37.2.2
$w$	gramil del perfil angular. Factor que tiene en cuenta la interacción con el cortante en el alma del pilar;	61.3, 62.1.2
$w_0$	imperfección inicial sinusoidal;	A7.2.1
$w_1$	flecha inicial bajo la totalidad de las cargas permanentes actuando sobre la estructura;	37.1

$W_2$	componente diferida de la flecha bajo cargas permanentes;	37.1
$W_3$	flecha debida a la acción de las sobrecargas, bajo la combinación de acciones que resulte pertinente;	37.1
$W_{activa}$	flecha activa;	37.1, 37.2.1
$W_c$	contraflecha de ejecución en taller del elemento estructural;	37.1
$W_{el}$	flecha elástica;	A7.2.1
$W_f$	coeficiente de ventilación;	A8.5
$W_{máx}$	flecha total aparente descontando la contraflecha;	37.1, 37.2.1
$W_{tot}$	flecha total;	37.1
$z$	distancia transversal entre la sección de estudio y la sección de contacto ala-alma, inmediata a la aplicación de la carga, para el caso de la aplicación de cargas localizadas en el plano del alma de una sección. Brazo de palanca. Distancia a la línea neutra. Altura medida sobre el eje de las llamas;	21.6, 62.1.4, 62.1.5, 65.2.2, 65.2.5, 73.7, A8.6.2
$z'$	posición vertical del foco virtual de calor;	A8.6.2
$z_0$	origen virtual del eje de las llamas;	A8.6.2
$z_i$	posición de la resultante de tensiones $F_{z_i}$ (brazo mecánico de dicha fuerza) en la superficie elemental $A_i$ ;	46.4

### **A1.1.3 Mayúsculas griegas**

$\Delta$	diferencia. Incremento. Desviación (tolerancias). Excentricidad. Inclinación. Desplome. Holgura;	16.1, 20.7, 32.3, 80.2, 80.3, 80.3.1, 80.4
$\Delta 1$	inclinación;	80.3
$\Delta 2$	inclinación;	80.3
$\Delta_a$	desviación en la geometría;	16.1
$\Delta L$	dilatación inducida en un elemento de longitud L, en función de la temperatura ( $\theta_a$ );	45.1
$\Delta M$	momento adicional	20.7. 34.3
$\Delta M_{Ed}$	momento flector adicional en secciones de clase 4 sometidas a esfuerzo axil de compresión debido al desplazamiento del eje del área reducida $A_{ef}$ respecto	34.1.2.4, 35.3

	del de la sección transversal bruta;	
$\Delta N_{st}$	incremento del esfuerzo axial de compresión en el rigidizador transversal con objeto de tener en cuenta las fuerzas de desvío;	A7.2.1
$\Delta t$	incremento de tiempo en segundos;	48.1, 48.2
$\Delta T_{\dot{\epsilon}}$	término función de la velocidad de deformación para la comprobación de la tenacidad de la fractura de un acero;	32.3
$\Delta t_p$	tiempo de retraso de materiales de protección con un contenido permanente de humedad;	45.2, 48.2
$\Delta T_r$	efecto de la pérdida por radiación del acero para la comprobación de la tenacidad de la fractura;	32.3
$\Delta T_{\epsilon_{cf}}$	término función de la conformación en frío del acero para la comprobación de la tenacidad de la fractura;	32.3
$\Delta \theta_{a,t}$	incremento elemental de la temperatura del acero;	48.1
$\Delta \theta_{g,t}$	Incremento de $\theta_{g,t}$ durante $\Delta t$ ;	48.2
$\Delta \sigma$	carrera de tensiones nominales normales;	42.2, 42.3, 42.6
$\Delta \sigma_{C,red}$	valor de referencia de la resistencia a fatiga reducido;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_c; \Delta \tau_c$	valor de la resistencia a la fatiga referido a $N_c = 2$ millones de ciclos;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_D; \Delta \tau_D$	límite de fatiga para carreras de tensión para amplitud constante a un número de ciclos $N_D$ ;	42.2, 42.6
$\Delta \sigma_i; \Delta \tau_i$	carreras de las componentes normal y tangencial de la tensión en el i-ésimo ciclo de carga;	42.3
$\Delta \sigma_L; \Delta \tau_L$	umbral de daño para carreras de tensión en el ciclo número $N_L$ ;	42.2, 42.6
$\Delta \tau$	carrera de tensiones nominales tangenciales;	42.2, 42.3, 42.6
$\Theta$	ángulo entre la barra de relleno y el cordón;	42.6
$\Theta_g$	temperatura del gas en la proximidad del elemento expuesto al fuego;	A8.2.2, A8.2.3, A8.3.1, A8.3.2, A8.3.3, A8.6.1
$\Theta_m$	temperatura de la superficie del elemento;	A8.2.2, A8.6.2
$\Theta_{m\acute{a}x}$	temperatura máxima en la fase de calentamiento;	A8.6.1
$\Theta_r$	temperatura efectiva de radiación del fuego;	A8.2.2

$\Theta_z$	temperatura del penacho a lo largo de su eje vertical de simetría;	A8.6.2
$\Sigma M_i$	momento flector total que solicita la sección suma de las cargas "i" consideradas aisladamente;	21.3.3
$\Phi$	ángulo. Valor para determinar el coeficiente de reducción $\chi$ . Factor de forma;	22.4.1, 35.1.2, 46.3, 46.6, A8.2.2, A.8.6.2
$\Phi_{Cd}$	Capacidad de rotación de la unión. Capacidad de rotación en una unión viga-soporte soldada, no rigidizada;	57.2, 62.4.2
$\Phi_{LT}$	valor para determinar el coeficiente de reducción $\chi_{LT}$ ;	35.2.2, 35.2.2.1, 35.2.3,
$\Phi_{LT,\theta,com}$	valor para determinar el coeficiente de reducción $\chi_{LT,fi}$ ;	46.5
$\Psi$	coeficiente adimensional de tensión o deformación. Relación de momentos en los extremos del segmento;	20.3, 20.7, 35.2.2.1, 35.3, 73.9.2, 73.10, A6.4.2.1, A6.4.2.2
$\Psi'_{el}$	coeficiente reductor elástico de la anchura eficaz de alas con rigidizadores debido al arrastre por cortante;	21.4, 21.5
$\Psi'_{ult}$	coeficiente reductor de la anchura eficaz de alas en el rango elastoplástico debido al arrastre por cortante, para alas traccionadas con rigidizadores longitudinales;	21.5
$\Psi_1$	coeficiente correspondiente al valor frecuente de una acción variable;	42.3
$\Psi_{1,i} Q_{k,i}$	valor representativo frecuente de la acción variable determinante;	13.2, Art. 44°
$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$	valor representativo cuasi-permanente de las acciones variables que actúan simultáneamente con la acción variable determinante y la acción accidental, o con la acción sísmica;	13.2, Art. 44°
$\Psi_{el}$	coeficiente reductor elástico de la anchura eficaz de alas debido al arrastre por cortante;	21.3, 21.4
$\Psi_{el,i}$	coeficiente reductor elástico de la anchura eficaz correspondiente a la carga "i" considerada aisladamente;	21.3.3
$\Psi_i$	factor de reducción de las acciones. Coeficiente;	Arts. 11° y 12°, A8.4.1, A8.4.3

$\Psi_{o,i} Q_{k,i}$	valor representativo de la combinación de acciones variables que actúan simultáneamente con la acción variable determinante;	13.2
$\Psi_{ult}$	coeficiente reductor de la anchura eficaz de alas en el rango elastoplástico debido al arrastre por cortante, para alas no rigidizadas;	21.5
$\Omega$	doble del área interna del trapecio que constituye la sección transversal de la viga cajón;	A3.3.1

#### **A1.1.4 Minúsculas griegas**

$\alpha$	parte de una sección transversal comprimida. Coeficiente. Factor de imperfección. Ángulo. Ángulo de operación;	20.3, 20.7, 21.4, 22.3.5, 32.2, 32.4, 34.1.2.5, 34.7.2.1, 35.1.2, 35.5.2.1, 46.5, 46.6, 57.2, 58.6, 59.8.2, 61.2, 62.2.1, 71.2.3.1, 72.1.1, 92.2, A6.4.2.1, A6.4.3, A8.6.2
$\alpha_b$	coeficiente;	65.2.1
$\alpha_c$	coeficiente de transferencia térmica por convección para fuego normalizado;	48.1, A8.2.2, A8.3.3, A8.4.6, A8.7
$\alpha_{cr}$	coeficiente por el que resulta necesario multiplicar las cargas de cálculo para provocar la inestabilidad elástica del modelo de pandeo global de la estructura;	23.2, 23.2.1, 24.2, 24.3
$\alpha_e$	coeficiente;	A6.4.3
$\alpha_h$	coeficiente;	35.3
$\alpha_i$	coeficiente;	70.4, A11.4.1
$\alpha_{LT}$	coeficiente de imperfección;	35.2.2, 35.2.3, 35.2.2.1
$\alpha_s$	coeficiente;	35.3
$\alpha_u$	coeficiente multiplicador de carga correspondiente a la	50.2

	situación de colapso:	
$\alpha_y$	coeficiente multiplicador de carga correspondiente a la situación de primera plastificación;	50.2
$\alpha_\theta$	coeficiente de dilatación lineal;	45.1
$\beta$	coeficiente adimensional. Índice de fiabilidad. Ángulo. Relación de dimensiones entre una diagonal o montante y el cordón correspondiente. Coeficiente de pandeo. Cociente entre el diámetro o la anchura media de las barras de relleno y el diámetro o anchura del cordón;	21.3.2, 32.2, 34.1.2.5, 34.7.2.1, 35.2.2.1, 58.6, 60.1.2, 61.5, 62.2.2, 62.3, 64.2, 64.7.1, 64.9, 70.3, 70.4, 72.4.1, 72.4.3, A5.2, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11
$\beta'$	coeficiente adimensional;	21.4, 34.1.2.5
$\beta_1$	coeficiente adimensional;	59.8.1, 62.3
$\beta_2$	coeficiente adimensional;	58.5.2, 59.8.1, 62.3
$\beta_3$	coeficiente adimensional;	58.5.2
$\beta_{50}$	índice de fiabilidad para un periodo de referencia de 50 años;	5.1.1.1
$\beta_{A,c}$	coeficiente;	A6.4.2, A6.4.3
$\beta_f$	coeficiente adimensional;	58.6
$\beta_i$	coeficiente de pandeo correspondiente a la carga $P_i$ , como si ésta actuase aisladamente. Coeficiente;	70.4, A11.4.1
$\beta_j$	coeficiente adimensional que depende de las características del mortero de nivelación colocado para el asiento de la placa de base;	65.2.2
$\beta_w$	coeficiente de correlación de aceros;	59.8.2, 59.10, 60.1.1, 60.2.1, 61.4, 61.6
$\gamma$	densidad. Relación entre la dimensión de un cordón y el doble de su espesor. Distorsión angular. Coeficiente;	32.4, 64.2, 66.1, A6.4.2.1, A-9-

		1, A-9-4, A-9-9, A-9-17
$\gamma_A$	coeficiente parcial de seguridad de la acción accidental.	12.1,
$\gamma_f$	coeficiente parcial de seguridad para una acción. Peso específico. Distorsión angular;	Art. 12º,
$\gamma_{Ff}$	coeficiente parcial de mayoración para carreras de tensión;	42.2, 42.3
$\gamma_G$	coeficiente parcial de seguridad de la acción permanente.	12.1, 12.2
$\gamma_{G^*}$	coeficiente parcial de seguridad de la acción permanente de valor no constante.	12.1, 12.2
$\gamma_{i^*}$	coeficiente;	A11.4.1
$\gamma_M$	coeficiente de minoración de la resistencia de los materiales;	15.2, 32.1, 32.2, A11.4.3.3
$\gamma_{M0}$	coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales;	15.3, 34.1.1, 34.2, 34.3, 34.4, 34.5, 34.6, 34.7.1, 34.7.2.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, 35.5.2.2, 35.7.1, 35.7.2, 46.2, 46.4, 58.2, 58.5.1, 58.9, 60.3, 61.2, 61.2.1, 62.1.1, 62.1.2, 62.1.4, 65.2.2, 73.9.2, 73.10, 73.11.1, 73.11.2, A5.2, A6.3, A6.5, A7.2.4
$\gamma_{M1}$	coeficiente parcial para la resistencia de elementos estructurales frente a inestabilidad;	15.3, 35.1.1, 35.2.1,

		35.2.3, 35.3, 35.5.2, 35.7.2, 35.9.3.3, 35.9.3.5, 46.5, 62.1.2, A7.2.1
$\gamma_{M2}$	coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. Idem para la resistencia de las uniones;	15.3, 34.2, 34.4, 58.5.1, 58.6, 58.7, 58.9, 59.8.2, 59.10, 60.1.1, 60.2.1, 61.3, 61.4, 61.5, 61.6, 65.2.1, 73.13.4, 73.13.5.1, 73.13.5.2
$\gamma_{M3}$	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados;	15.3, 58.8
$\gamma_{M5}$	coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular;	64.1, A-9-1, A-9-2, A-9-3, A-9-4, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-10, A-9-11, A-9-14, A-9-17, A-9-18, A-9-19
$\gamma_{Mf}$	coeficiente parcial para la resistencia a fatiga para las categorías de detalle $\Delta\sigma_c$ ; $\Delta\tau_c$ , cuando se utilizan como valor de la resistencia a fatiga;	42.2, 42.4
$\gamma_{Mfi}$	coeficiente parcial para la resistencia del acero en situación de incendio;	45.1, 46.1, 46.3, 46.4, 46.5, Art. 47°
$\gamma_p$	coeficiente parcial considerando el sistema de protección frente al fuego;	Art. 47°, 48.3, 48.4
$\gamma_Q$	coeficiente parcial de seguridad variable.	12.1, 12.2
$\gamma_q$	coeficiente parcial de seguridad que tiene en cuenta las consecuencias previsibles de incendio;	A8.4.1, A8.5
$\Delta$	desplazamiento relativo entre la cara superior e inferior del apoyo. Coeficiente:	66.1, A6.4.2.1

$\delta_{H, Ed}$	desplazamiento horizontal relativo del nivel superior de la planta con relación a su nivel inferior;	23.2.1
$\delta_{ni}$	coeficiente que toma en consideración las diferentes medidas activas de lucha contra incendios i, rociadores, detección, transmisión automática de alarma a bomberos (i=1, 2 ó 3).	A8.4.1
$\delta_q$	flecha del sistema de arriostramiento en el plano de estabilización;	22.4.1
$\delta_{q1}$	coeficiente que toma en consideración el riesgo de inicio de incendio debido al tipo de actividad;	A8.4.1
$\delta_{q2}$	coeficiente que toma en consideración el riesgo de inicio de incendio debido al tamaños del sector;	A8.4.1, A8.4.6
$ \delta_x $	flecha máxima local a lo largo del elemento;	35.3
$\varepsilon$	deformación;	20.3, 32.2, 35.1.3, 35.2.3, 35.3, 35.5.1, 35.5.2.1, 35.5.2.2, 35.6, 35.9.1, 45.1, 46.1, 62.1.4, 62.4.3, 73.9.2, 73.11.1, A3.2.2, A3.3.1
$\varepsilon_{c, Ed}$	deformación máxima de compresión de cálculo en el panel;	20.7
$\varepsilon_{cf}$	porcentaje de deformación permanente producida por el conformado en frío del material;	32.3
$\varepsilon_{cmáx}$	deformación unitaria máxima en el borde más comprimido del panel;	19.5.1, 19.5.2
$\varepsilon_{cr}$	deformación crítica ideal de abolladura del panel;	19.5.1, 20.7
$\varepsilon_{cu}$	deformación límite para elementos comprimidos de acero;	19.5.1
$\varepsilon_f$	emisividad del fuego;;	48.1, A8.2.2, A8.6.2
$\varepsilon_m$	emisividad de la superficie del elemento;	A8.2.2, A8.6.2
$\varepsilon_{máx}$	deformación bajo carga máxima;	26.3, 26.5.2
$\varepsilon_{p, \theta}$	deformación correspondiente al límite de proporcionalidad	45.1

	para la temperatura ( $\theta_a$ ), $f_{p,\theta}$ ;	
$\epsilon_{res}$	emisividad resultante para superficies de aceros al carbono;	48.1
$\epsilon_{tu}$	deformación límite para elementos traccionados de acero;	19.5.1
$\epsilon_u$	deformación última;	26.3, 26.5.2
$\epsilon_{u,\theta}$	deformación última para la temperatura ( $\theta_a$ ) en el diagrama tensión-deformación;	45.1
$\epsilon_y$	deformación correspondiente al límite elástico del acero;	19.5.1, 20.3, 26.3
$\epsilon_{y,\theta}$	deformación correspondiente al límite elástico efectivo para la temperatura ( $\theta_a$ ), $f_{y,\theta}$ ;	45.1
$\dot{\epsilon}$	velocidad de deformación;	32.3
$\dot{\epsilon}_0$	valor de referencia de la velocidad de deformación;	32.3
$\eta$	coeficiente que permite considerar la resistencia adicional que ofrece en régimen plástico el endurecimiento por deformación del material. Parámetro. Relación entre el diámetro o la anchura media de las barras de relleno y el diámetro o la anchura del cordón;	34.5, 35.5.1, 35.5.2.1, 35.9.3.5, 57.5, 64.2, A-9-2, A-9-3, A-9-10, A-9-11
$\eta_0$	grado de utilización;	46.8.1
$\eta_1$	coeficiente de distribución;	A5.2
$\eta_2$	coeficiente de distribución;	A5.2
$\eta_{cr}$	forma de la deformada del modo global de inestabilidad crítica elástica;	22.3.5
$\eta_{inic}$	amplitud de la imperfección única del modo de inestabilidad crítica elástica;	22.3.5
$\theta$	temperatura de un elemento. Coeficiente. Ángulo. ángulo entre la barra de relleno y el cordón;	Art. 46°, 46.2, 46.6, 48.3, 50.2, 61.6, 64.1, 64.2, A7.2.1, A-9-11, A-9-8, A-9-13
$\theta_a$	temperatura alcanzada por el acero. Giro en el extremo próximo de la viga;	45.1, 46.7, 48.4, A5.2
$\theta_{a,com}$	temperatura máxima del acero en el ala comprimida de la sección;	46.5

$\theta_{a,cr}$	valor crítico de la temperatura de acuerdo con 46.8, 46.8.1 y 46.8.2	Art. 46°, 46.8, 46.8.1, 46.8.2
$\theta_{a,máx}$	temperatura máxima del acero en la sección;	46.5
$\theta_{a,t}$	temperatura homogénea alcanzada por el acero transcurrido un incendio normalizado de duración t;	Art. 46°, 46.3, 46.4, 46.8, 46.8.2, 48.1, 48.2, 48.4
$\theta_b$	giro en el extremo alejado de la viga;	A5.2
$\theta_{g,t}$	temperatura de la masa gaseosa;	48.1, 48.2
$\theta_i$	ángulo entre la barra de relleno y el cordón (i=1, 2 ó 3). Temperatura de un elemento de área $A_i$ resultado de la partición de una sección;	64.2, 46.2, A-9-1, A-9-4, A-9-5, A-9-7, A-9-8, A-9-9, A-9-12, A-9-15, A-9-17, A-9-19,
$\theta_{m,t}$	temperatura superficial del elemento;	48.1
$\theta_V$	temperatura media de la sección eficaz a cortante ( $A_V$ ) utilizada en los cálculos a temperatura ambiente, de acuerdo con 34.5;	46.4
$\kappa$	coeficiente;	A-9-13
$\lambda$	esbeltez. Conductividad térmica;	22.3.2, 71.2.3.2, 73.11.2, A8.6.1
$\lambda_1$	coeficiente;	61.2
$\lambda_2$	coeficiente;	61.2
$\lambda_6$	parámetro;	A11.4.3.6
$\lambda_a$	conductividad térmica en W/(m°K), variable con la temperatura ( $\theta_a$ );	45.1
$\lambda_E$	valor de la esbeltez para determinar la esbeltez relativa;	35.1.3, 35.2.3
$\lambda_{ef}$	esbeltez eficaz;	72.3
$\lambda_{1i}, \lambda_{2i}, \dots, \lambda_{5i}$	parámetros;	A11.4.3.1, A11.4.3.2, A11.3.4.3, A11.3.4.4, A11.4.3.5

$\lambda_o$	esbeltez del pilar considerándolo biarticulado;	65.2.5
$\lambda_{ov}$	relación de solapamiento en tanto por ciento;	64.2, 64.7.1, A-9-7, A-9-19
$\lambda_{ov,lim}$	relación de solapamiento límite en tanto por ciento;	64.6.1, 64.8
$\lambda_p$	conductividad térmica convencional en W/(m°K). Conductividad térmica del sistema de protección frente al fuego;	45.2, 48.3
$\lambda_{pk}$	valor característico de la conductividad térmica del sistema de protección frente al fuego;	48.3
$\lambda_v$	esbeltez para el pandeo alrededor del eje de mínima inercia;	72.3
$\lambda_y$	esbeltez para el pandeo alrededor del eje y-y, paralelo a las alas;	72.3
$\lambda_z$	esbeltez para el pandeo alrededor del eje z-z, paralelo a las alas;	72.3
$\bar{\lambda}$	esbeltez relativa;	22.3.5, 24.3.1, 35.1.2, 35.3, 46.3, 61.6, 73.11.2, 73.11.3, Anejo 4
$\bar{\lambda}_c$	esbeltez relativa de la columna;	A6.4.3
$\bar{\lambda}_\theta$	esbeltez relativa empleada para los cálculos a temperatura ambiente, corregida en función de los coeficientes $k_{y,\theta}$ y $k_{E,\theta}$ obtenidos en 45.1 con la temperatura ( $\theta_{a,t}$ ) en el instante (t) del proceso de incendio considerado;	46.3
$\bar{\lambda}_{c0}$	esbeltez límite del ala comprimida equivalente;	35.2.3
$\bar{\lambda}_f$	esbeltez adimensional del ala comprimida equivalente entre puntos de arriostamiento;	35.2.3
$\bar{\lambda}_{LT}$	esbeltez adimensional para pandeo torsional o a flexo-torsión;	35.2.2, 35.2.3, 35.2.2.1, 35.3, 46.5
$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}$	esbeltez adimensional empleada en los cálculos a temperatura ambiente, corregida en función de los coeficientes $k_{y,\theta,com}$ y $k_{E,\theta,com}$ ;	46.5
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	coeficiente para calcular el pandeo lateral en perfiles laminados o secciones soldadas equivalentes sometidos a	35.2.2.1, 35.2.3

	flexión;	
$\bar{\lambda}_0$	esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme;	35.3
$\bar{\lambda}_p$	esbeltez relativa de la chapa o panel;	19.5.1, 62.1.2, 73.9.2, 73.11.2, A6.3, A6.4.2
$\bar{\lambda}_{p,red}$	esbeltez relativa de la chapa o panel en la sección reducida;	20.7, 73.9.2, 73.9.3, A6.3
$\bar{\lambda}_T$	esbeltez relativa para pandeo torsional o flexo-torsión;	35.1.4
$\bar{\lambda}_w$	esbeltez relativa del alma;	35.5.2.1, 35.9.3.3, 73.10
$\bar{\lambda}_{p,ser}$	esbeltez relativa de la chapa o panel en la sección reducida para el estado límite de servicio;	73.9.2, 73.9.3
$\mu$	coeficiente de comportamiento por ductilidad. Coeficiente de rozamiento. Factor de reducción. Factor de eficiencia;	50.2, 64.6.3, 64.7.3, 66.2, 71.2.3.2, 76.8, A-9-6, A-9-16
$\nu$	coeficiente de Poisson;	20.7, 32.4, 35.5.2.1, 73.9.2, A6.4.2.1, A6.4.2.2, A6.4.3
$\xi$	coeficiente;	A6.4.4
$\rho$	factor de reducción del ancho de los paneles comprimidos. Coeficiente. Masa específica del aire. Rendimiento. Coeficiente de reducción por abolladura de la placa ortótropa equivalente. Densidad;	19.5.1, 20.7, 34.7.1, 34.7.3, 62.1.2, 73.9.1, 73.9.2, A6.4.4, A8.5, A8.6.1
$\rho_a$	densidad del acero. Coeficiente;	48.1, 48.2, 73.9.3
$\rho_c$	coeficiente de reducción de inestabilidad del panel;	A6.3, A6.4.1, A6.4.4
$\rho_{loc}$	coeficiente de reducción de cada panel calculado según A6.3	A6.4.1

	para tener en cuenta la abolladura local;	
$\rho_p$	densidad del material de protección;	45.2
$\rho_{pd}$	valor de cálculo de la densidad del material de protección;	48.2
$\rho_{pk}$	valor característico de la densidad del material de protección;	48.3
$\sigma$	tensión normal. Tensión admisible a compresión del neopreno de apoyo. Constante de Stephan Boltzmann;	32.2, 45.1, 66.1, A8.2.2, A8.6.2
$\sigma_{//}$	tensiones normales que actúan sobre una plano normal al eje del cordón;	59.8, 59.11
$\sigma_{\perp}$	tensiones normales que actúan sobre el plano de garganta del cordón;	59.8, 59.8.2
$\sigma_1$	valor máximo de la tensión normal en el extremo del panel;	A6.4.2.1
$\sigma_2$	valor mínimo de la tensión normal en el otro extremo del panel;	A6.4.2.1
$\sigma_a$	tensión media del ala, calculada con la sección bruta;	73.7
$\sigma_{c,Ed}$	tensión máxima de compresión de cálculo;	20.3, 20.7, A6.3, A6.4.2.2
$\sigma_{co}$	tensión normal de comparación;	41.2
$\sigma_{co,Ed,ser}$	tensión normal de comparación en el panel para la combinación de acciones;	41.2
$\sigma_{com,Ed}$	tensión máxima uniforme en elementos planos;	73.9.1, 73.11.1
$\sigma_{com,Ed,ser}$	tensión de compresión máxima uniforme en elementos planos para el estado límite de servicio;	73.9.2
$\sigma_{cr}$	tensión normal crítica de abolladura de la chapa o panel. Tensión crítica elástica para pandeo por torsión del rigidizador;	20.7, 73.9.2, A7.2.1
$\sigma_{cr,c}$	tensión crítica elástica de pandeo de columna para una chapa no rigidizada;	A6.4.3, A6.4.4, A7.2.1
$\sigma_{cr,i}$	tensión normal crítica ideal de abolladura del panel, supuesto articulado en sus bordes;	40.2
$\sigma_{cr,p}$	tensión crítica de abolladura de la chapa equivalente en elementos planos rigidizados longitudinalmente;	A6.4.2, A6.4.2.2, A6.4.4, A7.2.1

$\sigma_{cr,sl}$	tensión crítica elástica de pandeo de la columna equivalente;	A6.4.2.2, A6.4.3
$\sigma_{Dw}(Z,S)$	sobretensión debida a la distorsión de una viga cajón unicelular simétrica sometida a una distribución de torsores exteriores $m(z)$ a lo largo de su longitud;	A3.3.1
$\sigma_E$	tensión crítica de Euler;	35.5.2.1, 40.2
$\sigma_{Ed,ser}$	compresión máxima en el panel para la combinación de acciones;	41.2
$\sigma_{H,ser}$	presión local de contacto entre bulón y pieza en estado límite de servicio, cuando el bulón ha de ser desmontable;	58.9
$\sigma_{m\acute{a}x}$	tensión normal máxima;	21.3.5
$\sigma_{m\acute{i}n}$	tensión normal mínima;	21.3.5
$\sigma_{My,Ed}$	tensión normal debida al flector $M_{y,Ed}$ , usando la sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{Mz,Ed}$	tensión normal debida al flector $M_{z,Ed}$ , usando la sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{n,Ed}$	máxima tensión de compresión existente en el alma del soporte;	62.1.2,
$\sigma_{N,Ed}$	tensión normal debida al axil, usando la sección reducida;	73.11.1
$\sigma_{o,Ed}$	máxima tensión de compresión en el cordón en una unión;	64.2
$\sigma_{p,Ed}$	valor de $\sigma_{o,Ed}$ descontando la tensión debida a las componentes paralelas al eje del cordón de los esfuerzos axiales actuantes en las barras de relleno en esa unión;	64.2
$\sigma_{ref}$	nivel de tensión de referencia en el acero;	32.3
$\sigma_{tot,Ed}$	suma de tensiones normales;	73.11.1
$\sigma_{w,Ed}$	tensiones normales longitudinales debidas al bimomento $B_{Ed}$ de torsión de alabeo;	34.6
$\sigma_{w,Ed}$	tensión normal debida a la torsión de alabeo, usando la sección bruta;	73.11.1
$\sigma_x$	tensión normal en el punto considerado;	21.3.5
$\sigma_{x,Ed}$	valor de cálculo de la tensión normal en la dirección longitudinal en el punto considerado:	34.1.1, 34.7.2.2, 34.7.2.3, A7.2.4
$\sigma_{x,Ed,ser}$	compresión máxima en el panel para la combinación	40.2

	frecuente de acciones;	
$\sigma_{z,Ed}$	valor de cálculo de la tensión normal en dirección transversal en el punto considerado;	21.6, 34.1.1
$\tau$	tensión tangencial;	42.6
$\tau_{//}$	tensiones tangenciales que actúan sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón;	59.8, 59.8.2
$\tau_{\perp}$	tensiones tangenciales que actúan sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón;	59.8, 59.8.2
$\tau_{cr}$	tensión tangencial crítica de abolladura;	35.5.2.1, 73.10
$\tau_{cr,i}$	tensión tangencial crítica ideal de abolladura del panel, supuesto articulado en sus bordes;	40.2
$\tau_{Ed}$	valor de cálculo de la tensión tangencial en el punto considerado;	34.1.1, 34.5
$\tau_{Ed,ser}$	tensión tangencial en el panel para la combinación de acciones;	40.2, 41.2
$\tau_{t,Ed}$	tensiones tangenciales debidas al esfuerzo torsor $T_{t,Ed}$ de torsión uniforme;	34.6
$\tau_{t,Ed}$	tensión tangencial debida a torsión uniforme, con la sección bruta;	73.11.1
$\tau_{tot,Ed}$	suma de tensiones tangenciales;	73.11.1
$\tau_{Vy,Ed}$	tensión tangencial debida al cortante $V_{y,Ed}$ , usando la sección bruta;	73.11.1
$\tau_{Vz,Ed}$	tensión tangencial debida al cortante $V_{z,Ed}$ , usando la sección bruta;	73.11.1
$\tau_w$	tensión tangencial media en el cordón;	59.8.2, 59.10, 60.2, 60.2.1
$\tau_{w,Ed}$	tensión tangencial debida a torsión de alabeo, con la sección bruta;	73.11.1
$\tau_{w,Ed}$	tensiones tangenciales debidas al esfuerzo torsor $T_{w,Ed}$ de torsión de alabeo;	34.6
$\tau_{w,max}$	tensión tangencial máxima en el cordón;	60.2.1
$\varphi$	relación de capacidades caloríficas totales del revestimiento y del elemento de acero;	48.2, 48.4
$\phi$	defecto lineal de verticalidad. Ángulo;	22.3.1, 22.3.3, 73.5,

		73.6, 73.10, A-9-6, A-9-11, A-9-13, A-9-16
$\phi_0$	valor de base de la imperfección lateral;	22.3.1
$\chi$	curvatura en el diagrama M- $\chi$ . Coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado. Coeficiente de reducción del ala comprimida equivalente determinado con $\bar{\lambda}_f$ ;	19.5.1, 22.3.5, 35.1.1, 35.1.2, 35.2.3, 35.3, 35.5.2, Anejo 4, A-9-8
$\chi_c$	coeficiente de reducción para la consideración del pandeo tipo columna;	A6.3, A6.4.1, A6.4.3, A6.4.4
$\chi_{el}$	curvatura correspondiente al límite elástico;	19.5.1
$\chi_F$	coeficiente de reducción de abolladura frente a carga concentrada;	35.6, 35.7.2
$\chi_{LT}$	coeficiente de reducción para pandeo lateral;	35.2.1, 35.2.2, 35.2.2.1, 35.3
$\chi_{LT,fi}$	coeficiente de reducción para pandeo lateral en situación de fuego de cálculo;	46.5
$\chi_{LT,mod}$	coeficiente de reducción modificado para pandeo lateral-torsional;	35.2.2.1
$\chi_u$	curvatura última elastoplástica;	19.5.1
$\chi_w$	coeficiente para la contribución del alma frente a abolladura por cortante;	35.5.2, 35.5.2.1, 35.7.1, 35.9.3.3, 35.9.3.5
$\chi_y$	coeficiente de reducción debido al pandeo por flexión respecto al eje y-y;	35.3
$\chi_z$	coeficiente de reducción debido al pandeo por flexión respecto al eje z-z;	35.3
$\omega$	coordenada sectorial normalizada;	34.6

## A1.2 Unidades y convención de signos

Las unidades adoptadas en esta Instrucción corresponden a las del Sistema Internacional de Unidades de Medidas, S.I.

## Anejo 2: Relación de normas UNE

El articulado de esta Instrucción establece una serie de comprobaciones de la conformidad de los productos incluidos en su ámbito que, en muchos casos, están referidos a la normativa UNE, UNE-EN o UNE-EN ISO.

La relación de las versiones correspondientes a las normas aplicables en cada caso, con referencia a su fecha de aprobación, es la que se indica a continuación.

### A2.1 Normas UNE

UNE 7475-1:1992	Materiales metálicos. Ensayo de flexión por choque sobre probeta Charpy. Parte 1: Método de ensayo.
UNE 36521:1996	Productos de acero. Sección en I con alas inclinadas (antiguo IPN). Medidas.
UNE 36522:2001	Productos de acero. Perfil U normal (UPN). Medidas.
UNE 36524:1999	Productos de acero laminados en caliente. Perfiles HE de alas anchas y caras paralelas. Medidas.
UNE 36525:2001	Productos de acero. Perfil U comercial. Medidas.
UNE 36526:1994	Productos de acero laminados en caliente. Medidas.
UNE 36559:1992	Chapas de acero laminadas en caliente de espesor igual o mayor a 3 mm. Tolerancias dimensionales sobre la forma y sobre la masa.
UNE 48103:2002	Pinturas y barnices. Colores normalizados.

### A2.2 Normas UNE-EN

UNE-EN 287-1:2004.	Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1. Aceros.
UNE-EN 719:1995	Coordinación del soldeo. Tareas y responsabilidades.
UNE-EN 1363-1:2000	Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales.
UNE-EN 1363-2:2000	Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales.
UNE-EN 1990:2003	Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.
UNE-EN 10002-1:2002	Materiales metálicos. Ensayos de tracción. Parte 1. Método de ensayo a temperatura ambiente.
UNE-EN 10024:1995	Productos de acero laminados en caliente. Sección en I con alas inclinadas. Tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10025-1:2006	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro.
UNE-EN 10025-2:2006	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros.

UNE-EN 10025-3:2006	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 3: Condiciones técnicas de suministro de los aceros.
UNE-EN 10025-4:2007	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 4: Condiciones técnicas de suministro de los aceros.
UNE-EN 10025-5:2007	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 5: Condiciones técnicas de suministro de los aceros.
UNE-EN 10025-6:2007	Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 6: Condiciones técnicas de suministro de los productos.
UNE-EN 10034:1994	Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10051:1998	Chapas, bandas y flejes laminados en caliente en continuo, de acero aleado y no aleado. No recubiertos. Tolerancias dimensionales y sobre la forma.
UNE-EN 10055:1996	Perfil T de acero con alas iguales y aristas redondeadas laminado en caliente. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10056-1:1999	Angulares de lados iguales y desiguales de acero estructural. Parte 1: Medidas.
UNE-EN 10056-2:1994	Angulares de lados iguales y desiguales de acero estructural. Parte 2: Tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10058:2004	Barras rectangulares de acero laminadas en caliente para usos generales. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10059:2004	Barras cuadradas de acero laminadas en caliente para usos generales. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10060:2004	Barras redondas de acero laminadas en caliente para usos generales. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10061:2005	Barras hexagonales de acero laminadas en caliente para usos generales. Medidas y tolerancias dimensionales y de forma.
UNE-EN 10079:2008	Definición de los productos de acero.
UNE-EN 10083-1:2008	Aceros para temple y revenido. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro.
UNE-EN 10088-1:2006	Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables.
UNE-EN 10131:2007	Productos planos de acero laminados e frío no recubiertos o recubiertos electrolíticamente de cinc o cinc-níquel, de acero de bajo contenido en carbono y de acero de alto límite elástico para conformado en frío. Tolerancias dimensionales, de la forma y de la masa.
UNE-EN 10149-2:1996	Productos planos laminados en caliente de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Condiciones de suministro para aceros en estado de laminado termomecánico.
UNE-EN 10149-3:1996	Productos planos laminados en caliente de alto límite elástico para conformado en frío. Parte 2: Condiciones

	de suministro para aceros en estado de normalizado o de laminado de normalización.
UNE-EN 10162:2005	Perfiles de acero conformados en frío. Condiciones técnicas de suministro. Tolerancias dimensionales y de la sección transversal.
UNE-EN 10164:2007	Aceros de construcción con resistencia mejorada a la deformación en dirección perpendicular a la superficie del producto.
UNE-EN 10210-1:2007	Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro.
UNE-EN 10210-2:2007	Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y propiedades de sección.
UNE-EN 10219-1: 2007	Perfiles huecos para construcción soldados, conformados en frío, de acero no aleado y de grano fino. Parte 1: Condiciones técnicas de suministro.
UNE-EN 10219-2: 2007	Perfiles huecos para construcción soldados, conformados en frío, de acero no aleado y de grano fino. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y propiedades de la sección.
UNE-EN 10268:2007	Productos planos laminados en frío de alto límite elástico para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.
UNE-EN 10279:2001	Perfiles en U de acero laminado en caliente. Tolerancias dimensionales, de forma y de la masa.
UNE-EN 10292:2001	Bandas (chapas y bobinas) de acero de alto límite elástico, galvanizadas en continuo con inmersión en caliente para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.
UNE-EN 10326:2007	Chapas y bandas de acero estructural recubiertas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.
UNE-EN 10327:2007	Chapas y bandas de acero bajo en carbono recubiertas en continuo por inmersión en caliente para conformado en frío.
UNE-EN 13920:1997	Tolerancias generales en construcciones soldadas. Dimensiones de longitudes y ángulos. Forma y posición. ISO 13920:1996).
UNE-EN 20286-2:1996	Sistemas ISO de tolerancias y ajustes. Parte 2: Tablas de los grados de tolerancias normalizados y de las desviaciones límite de los agujeros y de los ejes (ISO 286-2:1988).

### **A2.3 Normas UNE-EN ISO**

UNE-EN ISO 643:2004	Acero. Determinación micrográfica del tamaño del grano aparente. (ISO 633:2003).
UNE-EN ISO 1461:1999	Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo (ISO 1461:1999).
UNE-EN ISO 2063:2005	Proyección térmica. Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos inorgánicos. Cinc, aluminio y sus aleaciones (ISO 2063:2005).

UNE-EN ISO 2409:2007	Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado. (ISO 2409:2007).
UNE-EN ISO 2812-1:2007	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a líquidos. Parte 1: Inmersión en líquidos distintos al agua. (ISO 2812-1:2007).
UNE-EN ISO 2812-2:2007	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a líquidos. Parte 2: Método de inmersión en agua. (ISO 2812-2:2007).
UNE-EN ISO 3834:2006	Requisitos para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Parte 1: Criterios para la selección del nivel apropiado de los requisitos de calidad (ISO 3834-1:2005).
UNE-EN ISO 4014:2001	Pernos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B (ISO 4014: 1999).
UNE-EN ISO 4016:2001	Pernos de cabeza hexagonal. Productos de clase C (ISO 4016: 1999).
UNE EN ISO 4017:2001	Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clases A y B (ISO 4017:1999).
UNE-EN ISO 4018:2001	Tornillos de cabeza hexagonal. Productos de clase C (ISO 4018:1999).
UNE-EN ISO 4032:2001	Tuercas hexagonales. Tipo 1. Productos de clases A y B (ISO 4032:1999).
UNE-EN ISO 4033:2001	Tuercas hexagonales. Tipo 2. Productos de clases A y B (ISO 4033:1999).
UNE-EN ISO 4034:2001	Tuercas hexagonales. Producto de clase C (ISO 4034: 1999).
UNE-EN ISO 4063:2000	Soldeo y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:1998).
UNE-EN ISO 4624:2003	Pinturas y barnices. Ensayo de adherencia por tracción. (ISO 4624: 2002).
UNE-EN ISO 4628-2:2004	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los revestimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento. (ISO 4628-2:2003).
UNE-EN ISO 4628-3:2004	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los revestimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación. (ISO 4628-3:2003).
UNE-EN ISO 4628-4:2004	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los revestimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento. (ISO 4628-4:2003).
UNE-EN ISO 4628-5:2004	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los revestimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación. (ISO 4628-5:2003).
UNE-EN ISO 5817:2004	Soldeo. Uniones soldadas por fusión de acero, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones (ISO 5817:2003).

UNE-EN ISO 6270-1:2002	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Condensación continua (ISO 6270:1998).
UNE-EN ISO 6520-1:1999	Soldeo y procesos afines. Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos. Parte 1: Soldeo por fusión (ISO 6520-1:1998).
UNE-EN ISO 7089:2000	Arandelas planas. Serie normal. Producto de clase A (ISO 7089:2000).
UNE-EN ISO 7090:2000	Arandelas planas achaflanadas. Serie normal. Producto de clase A (ISO 7090:2000).
UNE-EN ISO 7091:2000	Arandelas planas. Serie normal. Producto de clase A (ISO 7091:2000).
UNE-EN ISO 7092:2000	Arandelas planas. Serie estrecha. Producto de clase A (ISO 7092:2000).
UNE-EN ISO 7093-1:2000	Arandelas planas. Serie ancha. Parte 1. Producto de clase A (ISO 7093-1:2000).
UNE-EN ISO 7093-2:2000	Arandelas planas. Serie ancha. Parte 2. Producto de clase C (ISO 7093-2:2000).
UNE-EN ISO 7094:2000	Arandelas planas. Serie extra ancha. Producto de clase C (ISO 7094:2000).
UNE-EN ISO 7438:2006	Materiales metálicos. Ensayo de doblado. (ISO 7438:2005).
UNE-EN ISO 8501-1:2008	Preparación de sustratos de acero previa aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Evaluación visual de la limpieza de las superficies de acero. Parte1: Grados de óxido y preparación de los sustratos no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores (ISO 8501-1:2007).
UNE-EN ISO 8502-3:2000	Preparación de sustratos de acero previa aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Determinación del polvo sobre superficies preparadas para ser pintadas. Parte 3: Método de la cinta adhesiva sensible a la presión (ISO 8502-3:1992).
UNE-EN ISO 8503-1:1996	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos (ISO 8503-1:1988).
UNE-EN ISO 8503-2:1996	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 2: Método para caracterizar un perfil de superficie de acero decapado por proyección de agentes abrasivos. Utilización de muestras ISO de comparación táctil-visual (ISO 8503-1:1988).
UNE-EN ISO 8503-3:1996	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 3: Método de calibración de las muestras ISO de comparación táctil-visual y de caracterización de un perfil

	de superficie. Utilización de un microscopio óptico (ISO 8503-3:1988).
UNE-EN ISO 8503-4:1996	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 4: Método para la calibración de las muestras ISO de comparación táctil-visual y de caracterización de un perfil de superficie. Utilización de un palpador (ISO 8503-4:1988).
UNE-EN ISO 8503-5:2006	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 5: Método de la cinta réplica para la determinación del perfil de superficie (ISO 8503-5:2003).
UNE-EN ISO 8504-2:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 2: limpieza por chorreado abrasivo (ISO 8504-2:2000).
UNE-EN ISO 8504-3:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 3: Limpieza manual y con herramientas motorizadas (ISO 8504-3:1993).
UNE-EN ISO 8504-1:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 1: Principios generales. (ISO 8504-1:2000).
UNE-EN ISO 9001	Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO 9001:2000).
UNE-EN ISO 9227:2007	Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayo de niebla salina (ISO 9227:2006).
UNE-EN ISO 9692-1:2004	Soldeo y procesos afines. Recomendaciones para la preparación de la unión. Parte 1: Soldeo por arco con electrodos revestidos. Soldeo por arco protegido por gas y electrodo de aporte, soldeo por llama, soldeo por arco con gas inerte y electrodo de wolframio y soldeo por haz de alta energía de aceros (ISO 9692-1:2003).
UNE-EN ISO 10666:2000	Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales. (ISO 10666:1999).
UNE-EN ISO 12944-1:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: Introducción general (ISO 12944-1:1998).
UNE-EN ISO 12944-2:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión. Mediante la aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes. (ISO 12944-2:1998).
UNE-EN ISO 12944-3:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión. Mediante la aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño. (ISO 12944-3:1998).
UNE-EN ISO 12944-4:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: Tipos y preparación de superficies (ISO 12944-4:1998).

UNE-EN ISO 12944-5:2008	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión. Mediante la aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 5: Sistemas de pinturas protectores. (ISO 12944-5:2008).
UNE-EN ISO 12944-6:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión. Mediante la aplicación de sistemas de pinturas protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en el laboratorio. (ISO 12944-6:1998).
UNE-EN ISO 13918:1999	Soldeo. Espárragos y férulas cerámicas para el soldeo por arco de espárragos (ISO 13918:1998).
UNE-EN ISO 14713:2000	Protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Recubrimientos de cinc y aluminio. Directrices (ISO 14713:1999).
UNE-EN ISO 15480:2000	Tornillos autotaladrantes con tornillo de cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscante. (ISO 15480:1999).
UNE-EN ISO 15481:2000	Tornillos autotaladrantes con cabeza cilíndrica abombada ancha de hueco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15481:1999).
UNE-EN ISO 15482:2000	Tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada de hueco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15482:1999).
UNE-EN ISO 15483:2000	Tornillos autotaladrantes con cabeza avellanada, abombada y hueco cruciforme, con rosca autorroscante (ISO 15483:1999).
UNE-EN ISO 15607:2004	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Reglas generales (ISO 15607:2003).
UNE-EN ISO 15609-1:2005	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco. (ISO 15609-1:2004).
UNE-EN ISO 15614-1:2005	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldeo por arco y con gas de aceros y soldeo por arco de níquel y sus aleaciones (ISO 15614-1:2004).
UNE-EN ISO 45011	Requisitos generales para entidades que realizan la certificación de producto (Guía ISO/CEI 65:1996).

#### **A2.4 Normas UNE-EN ISO/IEC**

UNE-EN ISO/IEC 17021	Evaluación de la conformidad. Requisitos para los organismos que realizan la auditoría y la certificación de sistemas de gestión (ISO/IEC 17021:2006)
UNE-EN ISO/IEC 17025	Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

#### **A2.5 Otras normas.**

EN 1993-1-3	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.
-------------	---

EN 1993-1-6	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-6: Láminas.
EN 1997-1-7	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-7: Placas planas cargadas transversalmente.
EN 1993-1-8	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Uniones.
EN 1993-2	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-8: Puentes.
EN 1994-2	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas. Parte 2: Puentes.
EN 14399-1:2005	Pernos estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 1: Requisitos generales.
EN 14399-2:2005	Pernos estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 2: Ensayo de adecuación a la precarga.
EN 14399-5:2005	Pernos estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 5: Arandelas planas.
ISO 9226:1992	Corrosión de metales y aleaciones. Corrosividad de la atmósfera. Determinación de la tasa de corrosión de los especímenes estándar para la evaluación de corrosividad.
EN 14399-6:2005	Pernos estructurales de alta resistencia para precarga. Parte 6: Arandelas planas achaflanadas.
UNE-ENV 1090-2:1999	Ejecución de estructuras de acero. Parte 2: Reglas suplementarias para chapas y piezas delgadas conformadas en frío.
UNE-ENV 13381-2:2004	Ensayos para determinar la contribución de la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 2: Membranas protectoras verticales.
UNE-ENV 13381-4:2005	Ensayos para determinar la contribución de la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Parte 4: Protección aplicada a elementos de acero.

# Anejo 3: Diafragmas

## A3.1 Generalidades y ámbito de aplicación

El análisis de las vigas cajón puede realizarse con modelos tipo viga indeformable, que prescindan de los efectos de la distorsión de la sección transversal, siempre que, además de los diafragmas rígidos ubicados en las secciones de apoyo, se dispongan diafragmas transversales intermedios modularmente espaciados a lo largo de la viga que limiten los efectos de la distorsión del cajón a valores sin relevancia en el proyecto.

Este Anejo incluye las condiciones que deben regir el diseño de estos diafragmas intermedios en el ámbito de los puentes mixtos de carretera cuya sección transversal presente eje vertical de simetría y se constituya por una sección cajón de acero unicelular abierta que se cierra superiormente por la losa de hormigón.

Asimismo, se propone también en este Anejo una metodología que permite cuantificar la incidencia de la distorsión de la sección transversal en la respuesta de una viga cajón unicelular simétrica, con una configuración de diafragmas dada a lo largo de su longitud. El método es aplicable con carácter general a estructuras sometidas a acciones torsoras de relevancia y donde sea preciso comprobar en el proyecto los efectos de la distorsión, siempre que se verifiquen las limitaciones geométricas que se establecen. La ventaja del método propuesto es que permite mantener en el análisis una metodología de sección tipo viga indeformable, lo cual es la práctica más habitual en el proyecto de vigas cajón, y añadir posteriormente, como un estado tensional y deformacional más, la incidencia de la distorsión en cada una de las hipótesis de carga que se consideren.

## A3.2 Dimensionamiento de los diafragmas en puentes de carretera

### A3.2.1 Condiciones geométricas mínimas

La separación entre diafragmas consecutivos no será superior a cuatro veces el canto de la sección metálica, y se dispondrán al menos cuatro diafragmas intermedios por vano, además de los diafragmas rígidos ubicados en las secciones de apoyo.

Las disposiciones que figuran en este Anejo son válidas para diafragmas de alma llena o diafragmas en celosía de cualquiera de los tipos que se incluyen en el apartado A3.3, siempre que, en este último caso, las diagonales no presenten una inclinación con la horizontal inferior a  $2.5H/1V$ . En los diafragmas de alma llena podrán ubicarse aligeramientos que permitan la accesibilidad interior del cajón, siempre que sus dimensiones no perturben de modo significativo la rigidez en su plano del diafragma.

También pueden emplearse diafragmas tipo marco rígido constituidos por rigidizadores soldados perimetralmente a las chapas principales del cajón. No obstante, este tipo de diafragmas puede resultar sensiblemente menos eficaz para controlar los efectos de la distorsión del cajón que los dos grupos anteriores, por lo que la aplicación a los diafragmas tipo marco de las disposiciones y métodos incluidos en este Anejo sólo es válida cuando la rigidez obtenida con el marco sea del mismo orden de la que se obtendría con un diafragma en celosía dimensionado con los criterios de este Anejo.

Los diafragmas se ubicarán en planos sensiblemente normales a la directriz del cajón. Desviaciones superiores a 10° en planta y 5° en alzado entre el plano del diafragma y la directriz del cajón quedan fuera del alcance de este Anejo.

### **A3.2.2 Dimensionamiento resistente de los diafragmas**

El dimensionamiento general de los diafragmas se realizará por criterios resistentes para hacer frente a las solicitaciones que actúan sobre ellos. Deberán considerarse las solicitaciones sobre los diafragmas originadas por los siguientes conceptos:

- a) Desarrollo en la sección transversal de los flujos de torsión uniforme que equilibran las acciones torsoras exteriores que solicitan al cajón, y además, en el caso de puentes curvos, el torsor debido al desvío en planta de la flexión del tablero.
- b) Acciones localizadas actuando directamente sobre algún elemento del diafragma, cuando los diafragmas forman parte del sistema de transmisión de cargas procedentes de la plataforma.
- c) Resistencia frente a las acciones transmitidas por eventuales sistemas laterales en ménsula, que puedan existir en puentes anchos.
- d) Fuerzas de desvío impuestas por la curvatura en alzado del cajón, o cambios localizados o graduales de pendiente del ala inferior en puentes de canto variable.
- e) Transferencia de los esfuerzos localizados que se generan en zonas singulares del tablero con alguna discontinuidad geométrica, cambios bruscos en la sección transversal o cualquier otra circunstancia que suponga la alteración brusca y localizada del régimen tensional del cajón.
- f) En cajones trapeciales, recogida de la componente horizontal que permite equilibrar las solicitaciones derivadas de las cargas exteriores aplicadas sobre la plataforma, generalmente verticales, con los flujos tensionales rasantes en los planos inclinados de las almas.
- g) Esfuerzos generados durante el montaje de la estructura que puedan actuar sobre la sección cajón abierta, previamente al cierre de la misma con la losa superior de la sección mixta, y para los que debe materializarse en el proyecto un mecanismo resistente adecuado. En particular deben considerarse:
  - Eventuales solicitaciones torsoras que puedan introducirse previamente al cierre de la sección, tanto de carácter permanente como transitorio durante los hormigonados de la losa superior.
  - En el caso de cajones de forma trapecial, incidencia de la inclinación de las almas en el equilibrio entre las cargas exteriores aplicadas y los flujos rasantes de la sección que las equilibran.
  - Coacción al pandeo lateral de los cordones comprimidos durante el montaje.
  - Acción del viento sobre la sección abierta.
- h) Todas las solicitaciones que se derivan de las funciones típicas de los rigidizadores transversales convencionales en almas y alas, cuando, como es habitual, en las secciones de los diafragmas éstos cumplen simultáneamente las funciones propias de la rigidización:
  - Controlar la abolladura de los paneles de alma y alas sometidos a tensiones normales y tangenciales.
  - Limitar el pandeo de los rigidizadores comprimidos de almas y alas en zonas comprimidas.
  - Recoger las fuerzas de desvío debidas a la posible curvatura o cambios de alineación de las chapas de almas o alas, y de sus rigidizadores.

- Recoger las acciones directamente aplicadas sobre las caras del cajón, bien procedentes de la plataforma actuando sobre el elemento superior del diafragma, o bien acciones aplicadas directamente sobre los paneles de chapa, principalmente el viento.

Para cada una de las solicitaciones descritas, y en función de la tipología del diafragma que corresponda, se elaborará el modelo de análisis que permita la obtención de los esfuerzos que actúan sobre los distintos elementos del diafragma y su posterior dimensionamiento, de acuerdo a las reglas aplicables descritas en el articulado de esta Instrucción.

Como norma general, el modelo para la obtención de los esfuerzos en el diafragma comprenderá una rebanada ideal de sección cajón, presentando en sus caras dorsal y frontal respectivamente las secciones transversales antes y después del diafragma, sobre la que se introducirán las acciones correspondientes a cada una de las solicitaciones descritas en la relación anterior, que actúan sobre el diafragma, así como la resultante de flujos rasantes dorsal y frontal en las almas y alas del cajón que las equilibran, de modo que el sistema de acciones introducidas resulte siempre autoequilibrado.

Cuando la propia rigidez de los diafragmas incida de modo significativo en las solicitaciones sobre los mismos, podrá considerarse el reparto de las acciones localizadas entre diafragmas sucesivos para obtener las solicitaciones de dimensionamiento de los mismos, siempre que dicho reparto quede justificado en el proyecto por medio del modelo correspondiente. Sin embargo, salvo que esta justificación esté incluida en el proyecto, las acciones directamente aplicadas sobre un diafragma deberán ser enteramente resistidas por éste, sin colaboración alguna de los diafragmas adyacentes. Como excepción, se admite sin mayor justificación un reparto isostático entre diafragmas adyacentes de los efectos de las acciones ubicadas entre los mismos.

En los apartados A3.3 y A3.4 se incluye una metodología de análisis que permite considerar en el proyecto el reparto entre diafragmas sucesivos de las solicitaciones procedentes de la introducción en la sección cajón de los flujos de torsión uniforme correspondientes a acciones localizadas, siempre que se cumplan las limitaciones geométricas allí expuestas. Para las acciones de otro origen, el Autor del Proyecto deberá justificar con el modelo correspondiente el eventual reparto entre los distintos diafragmas, de acuerdo a la naturaleza del problema a resolver y las características deformacionales tanto del cajón como de los propios diafragmas.

Una vez obtenidas las solicitaciones sobre los distintos elementos que constituyen el diafragma, su dimensionamiento se realizará en cada caso conforme al articulado de esta Instrucción. En los elementos lineales obtenidos por soldadura de un rigidizador a un panel de chapa de alma o ala, se considerará para las comprobaciones resistentes la colaboración con el rigidizador de una porción de chapa de anchura  $15 \varepsilon t$  a cada lado del mismo, siendo  $t$  el espesor de la chapa de alma o ala y  $\varepsilon = \sqrt{(235/f_y)}$ , con  $f_y$  en  $\text{N/mm}^2$ .

Cuando la verificación en estados límites últimos considere la resistencia plástica, en el caso de las secciones de clases 1 ó 2, se comprobará también la ausencia de plastificaciones locales en estado límite de servicio.

Asimismo, en los elementos de carácter bidimensional (diafragmas de alma llena) serán también de aplicación las verificaciones de abolladura bajo cargas de servicio establecidas en esta Instrucción.

### **A3.2.3 Rigidez necesaria de los diafragmas**

Además de los controles resistentes descritos, los diafragmas deberán dimensionarse con la rigidez necesaria para soportar los esfuerzos derivados de las solicitaciones indicadas anteriormente, sin deformaciones que puedan alterar significativamente la respuesta global del puente prevista en el dimensionamiento general o las hipótesis que han servido de base para el propio diseño del diafragma.

Siempre que los diafragmas hayan sido dimensionados por condiciones de resistencia de acuerdo al apartado anterior, el cumplimiento de las condiciones geométricas mínimas establecidas en el articulado de esta Instrucción para cada uno de los elementos que constituyen un diafragma (esbelteces máximas en elementos lineales y planos, espesores mínimos de chapas, condiciones geométricas mínimas en elementos de celosías y rigidizadores, condiciones mínimas geométricas en uniones, etc.) permite en general garantizar la necesaria rigidez de la respuesta de los diafragmas, con las precauciones adicionales que se indican a continuación:

- a) Cuando los elementos que constituyen un diafragma deban asumir, además, las funciones propias de los rigidizadores convencionales de almas o alas, se deberán verificar asimismo las condiciones de rigidez que se exigen a estos elementos en el articulado aplicable de esta Instrucción.
- b) Cuando la deformación del diafragma, o de algún elemento del mismo, pueda afectar significativamente a la verificación de algún estado límite último o de servicio, se deberá considerar la incidencia de la flexibilidad del diafragma en dicha comprobación.
- c) En el caso de puentes mixtos rectos de carretera con sección cajón simétrica unicelular, y salvo en lo relativo al estado límite de fatiga pueden obviarse los efectos de la distorsión del cajón, por insuficiente rigidez de los diafragmas, en las verificaciones de ELU o ELS, siempre que se cumplan simultáneamente las condiciones siguientes:
  - Cada alma de la sección transversal sigue un único plano con inclinación respecto a la vertical inferior a  $45^\circ$ .
  - La relación ancho/luz del cajón no es superior a 0,40, considerando como anchura, exclusivamente, la máxima separación entre almas.
  - La relación ancho/canto del cajón no es superior a 8, con la misma definición de anchura.
  - Se verifican las condiciones de A3.2.1 en cuanto al número, separación y orientación de los diafragmas.
  - Existen diafragmas rígidos en todas las secciones de apoyo.
  - Los diafragmas intermedios entre apoyos se han dimensionado por condiciones de resistencia de acuerdo al apartado anterior A3.2.2 y en la hipótesis de los diafragmas rígidos, es decir, sin considerar reparto alguno entre diafragmas adyacentes de las acciones localizadas directamente aplicadas sobre un diafragma.
  - El cajón presenta geometría constante o con una variación suave a lo largo de la directriz, salvo a lo sumo en un cierto número de secciones localizadas en las que se disponen diafragmas rígidos, y suficientemente separadas entre sí para permitir el desarrollo entre ellas del régimen normal de tensiones.
- d) Los diafragmas dimensionados de acuerdo a las condiciones anteriores garantizan una sobretensión inferior a los  $25\text{N/mm}^2$  en las esquinas inferiores metálicas del cajón para el tren de carga previsto en la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera IAP-98. En el resto de la sección

transversal la distribución tensional puede obtenerse de la figura A3.2. En el caso de que la comprobación a fatiga de los detalles correspondientes a las alas y almas del cajón pueda resultar condicionante de su dimensionamiento, estas sobretensiones deberán considerarse en la verificación a fatiga correspondiente, adecuadamente corregidas para considerar la magnitud real del vehículo de fatiga que, de acuerdo a la normativa, debe considerarse en dicha verificación, inferior al tren de cargas aplicable al control resistente. No obstante, no es preciso considerar ninguna sobretensión en las alas inferiores en que se haya dispuesto doble acción mixta o en las alas superiores comprimidas conectadas a la losa superior.

Cuando la verificación a fatiga resulte condicionante y la sobretensión distorsora máxima indicada determine la validez o no de un determinado detalle, resulta recomendable la modificación de los detalles de proyecto, para mejorar su categoría hasta obtener un control a fatiga satisfactorio. No obstante, dado que los 25 N/mm<sup>2</sup> de sobretensión distorsora indicados corresponden al rango de cajones con las geometrías más desfavorables de los contemplados en este apartado, y con la máxima separación permitida entre diafragmas adyacentes, podría alternativamente realizarse un cálculo más afinado de la sobretensión distorsora, según se indica en el método general del apartado A3.3.

### **A3.3 Cálculo general de los efectos de la distorsión**

#### **A3.3.1 Cálculo de la sobretensión distorsora**

Para permitir conocer con mayor precisión los efectos de la distorsión asociados a una configuración de diafragmas dada, la metodología que sigue permite relacionar la configuración de diafragmas dispuesta a lo largo de la viga cajón, caracterizada por la separación entre diafragmas consecutivos y la rigidez de los mismos, con la sobretensión distorsora y las deformaciones que aparecen en el cajón.

El método propuesto es aplicable con carácter general a todo tipo de vigas cajón, ya sean vigas de puente, de carretera o ferroviarios, o de cualquier otro tipo, siempre que se respeten las condiciones geométricas siguientes:

- La directriz del cajón es recta y sin esviajes en los apoyos.
- La sección transversal que constituye el cajón es unicelular simétrica, y constante a lo largo de la directriz.
- Tanto la relación canto/luz como la relación ancho/luz del cajón no son superiores a 0,40, considerando como anchura, exclusivamente, la máxima separación entre almas.

No obstante, la aplicación general del método podría extenderse a geometrías algo más complejas:

- Cajones con curvatura en planta.
- Cajones con geometría variable, siempre que la variación se desarrolle suavemente a lo largo de la directriz, y a lo sumo existan cambios bruscos de geometría en secciones localizadas en las que se disponen diafragmas rígidos.
- Cajones con esviajes en los apoyos, en los que existen diafragmas rígidos.

En estos casos el método permite aproximar la incidencia de la distorsión en la respuesta general del cajón, y puede constituir una herramienta adecuada para el proyecto siempre que la distorsión del cajón se limite a valores moderados, no resultando determinante de su respuesta resistente, y, en todo caso, se controle por medio de diafragmas rígidos la distorsión localizada en las regiones singulares (zonas de apoyos, esviajes, cambios en geometría, etc.). Cuando, por el contrario, se prevea una incidencia significativa de la distorsión, deberán emplearse en el análisis técnicas

más elaboradas, de láminas plegadas o elementos finitos, que permitan evaluar con mayor rigor el comportamiento longitudinal y transversal del cajón.

La metodología de análisis se basa en la analogía existente entre la distorsión de vigas cajón con sección transversal unicelular simétrica sometidas a acciones excéntricas y la flexión de elementos lineales sobre fundación elástica sometidos a cargas verticales. De acuerdo a esta analogía, la sobretensión debida a la distorsión de una viga cajón unicelular simétrica sometida a una distribución de torsores exteriores  $m(z)$  a lo largo de su longitud viene dada por la expresión:

$$\sigma_{Dw}(z, s) = \frac{B_D(z) \omega(s)}{I_b}$$

En la que:

$I_b$  es la inercia al alabeo distorsional de la sección, que depende exclusivamente de la geometría de la sección transversal, y viene dada por la expresión:

$$I_b = \frac{2 \frac{a_B}{a_T} [(\alpha_T + 2)(\alpha_B + 2) - 1]}{(1 + \frac{a_B}{a_T})(3 + 3 \frac{a_B}{a_T} + \alpha_T + \alpha_B \frac{a_B}{a_T})} \bar{I}_W$$

con:  $\alpha_T = \frac{t_T (a_T + 2a_c)^3}{t_W d_W a_T^2}$        $\alpha_B = \frac{t_B a_B}{t_W d_W}$        $\bar{I}_W = 1/12 t_W d_W^3$

y  $a_T$ ,  $a_B$ ,  $a_c$ ,  $t_T$ ,  $t_B$ ,  $t_W$ ,  $d_W$  los valores que definen la geometría de la sección transversal según la figura siguiente:

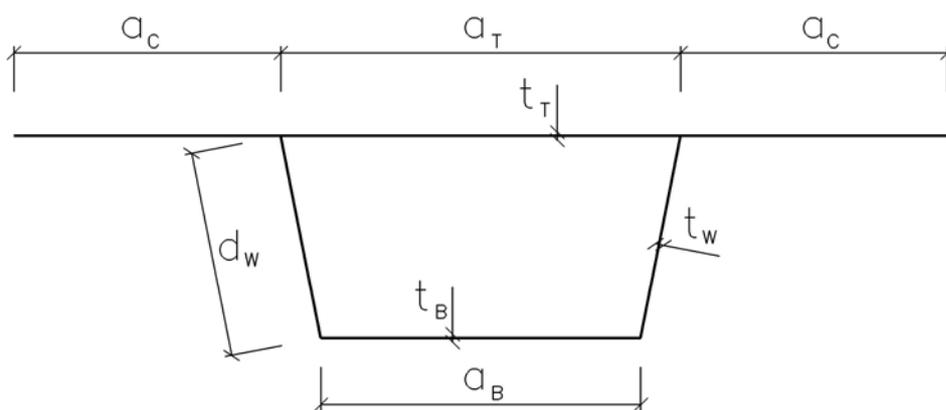


Figura A3.3.1.a

$\omega(s)$  es la distribución transversal de las tensiones normales en la sección, y viene dada por la figura siguiente:

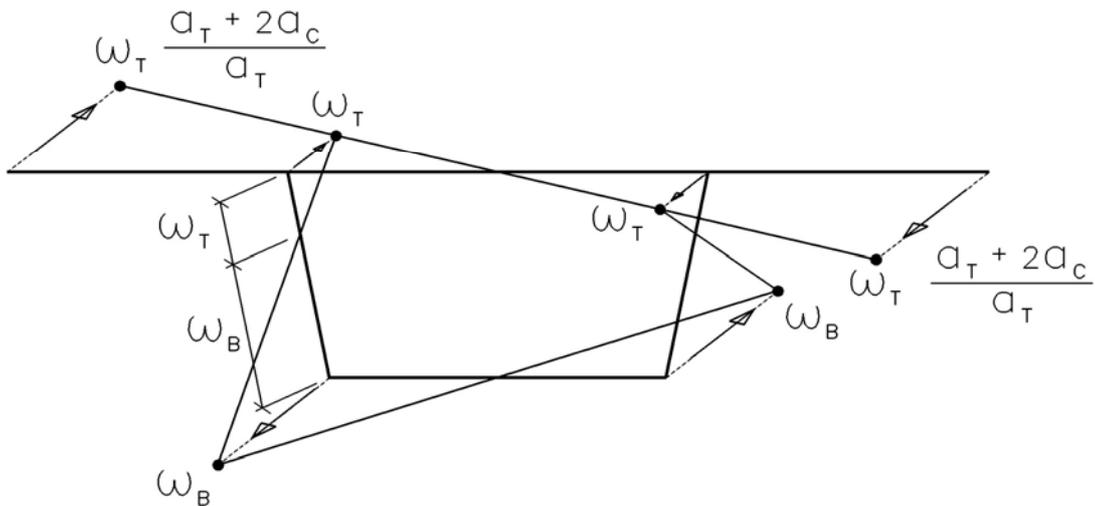


Figura A3.3.1.b

en la que  $\omega_T$  y  $\omega_B$  vienen dadas por las expresiones siguientes:

$$\omega_T = \frac{1 + (2 + \alpha_B) \frac{a_B}{a_T}}{3 + \alpha_T + (3 + \alpha_B) \frac{a_B}{a_T}} d_W \quad \omega_B = d_W - \omega_T$$

$B_D(z)$  es el bimomento distorsional que solicita a la viga, función de la coordenada longitudinal de la viga  $z$ , y que coincide con la ley de momentos flectores en una viga equivalente definida como sigue:

- La viga equivalente es recta y con la misma longitud que la viga real. En el caso de que el método se aplique a vigas curvas se tomará como longitud de la viga equivalente la longitud desarrollada de la viga curva.
- La inercia de la viga viene dada por la inercia al alabeo distorsional  $I_b$  antes definido. Cuando el método se aplique a cajones de geometría no constante,  $I_b$  se dispondrá también variable a lo largo de la viga con su variación real.
- La viga se soporta con vinculaciones elásticas en los puntos donde se ubican los diafragmas. La constante de rigidez  $K_D$  de los apoyos depende del tipo de diafragma, y se indica más adelante para los casos más comunes.
- En las secciones de apoyo se disponen vinculaciones rígidas, que deben materializarse en la estructura real con diafragmas rígidos.
- También debe disponerse un diafragma rígido en las secciones en las que se presente un cambio brusco de geometría del cajón, cuando el método se aplica con carácter aproximado a este tipo de cajones. En la viga equivalente este diafragma puede representarse con la constante de rigidez  $K_D$  correspondiente a su configuración, según se indica más adelante. En general, este diafragma deberá disponerse con una rigidez sensiblemente superior al resto de los diafragmas tipo adyacentes.

- La carga vertical  $p(z)$  aplicada sobre la viga depende de la geometría del cajón y de la distribución de torsores exteriores  $m(z)$  aplicada sobre el cajón para la cual estudiamos la distorsión, y viene dada por la expresión:

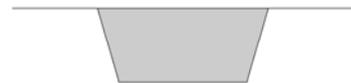
$$p(z) = m(z) \left( \frac{d_w}{a_T b} - \frac{d_w}{\Omega} \right)$$

donde  $\Omega$  es el doble del área interna del trapecio que constituye la sección transversal, y el resto de parámetros geométricos se definen en la figura anterior. En el caso de que la viga presente curvatura en planta, además de los torsores exteriores que se introduzcan sobre la viga  $m(z)$  se deberá incluir el torsor adicional que produce el desvío en planta de las flexiones en la viga, obtenido dividiendo la ley de momentos flectores en la viga por el radio de curvatura en cada punto.

La constante de rigidez  $K_D$  en las vinculaciones elásticas representa la rigidez en su plano del diafragma que se opone a la deformación distorsora, y adopta los valores siguientes para las tipologías de los diafragmas considerados en este Anejo:

Diafragma alma llena:

$$K_D = \frac{1}{4} G t_d f_d^2 \frac{L_p^2}{A_i} \quad \text{con} \quad f_d = \frac{2 \left( 1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



donde,  $t_d$  es el espesor de la chapa del diafragma,  $L_p$  la diagonal geométrica de la sección transversal del cajón, y  $A_i$  el área del trapecio que constituye la sección transversal.

Cruz de San Andrés con dos barras colaborantes:

$$K_D = \frac{1}{2} E A_d \frac{f_d^2}{L_b} \quad \text{con} \quad f_d = \frac{2 \left( 1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



donde  $A_d$  es el área de la diagonal de la celosía y  $L_b$  su longitud.

Diagonal simple ó Cruz de San Andrés dimensionada sólo a tracción:

$$K_D = \frac{1}{4} EA_d \frac{f_d^2}{L_b} \quad \text{con} \quad f_d = \frac{2 \left( 1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{a_T + a_B}{2b} \right)^2}}$$



con los mismos significados anteriores.

Celosía en V:

$$K_D = \frac{1}{4} \frac{EA_d f_d^2}{2L_b} \quad \text{con:} \quad f_d = \frac{2b \left( 1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{L_b}$$



donde  $A_d$  es el área de la diagonal de la celosía y  $L_b$  su longitud.

Celosía en V invertida:

$$K_D = \frac{1}{4} \frac{EA_d f_d^2}{2L_b} \quad \text{con:} \quad f_d = \frac{2b \left( 1 + \frac{a_T}{a_B} \right)}{L_b}$$



con los mismos significados anteriores.

Doble celosía en V:

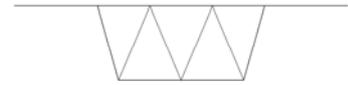
$$K_D = \frac{EA_d}{L_b^3} b^2$$



donde  $A_d$  es el área de la diagonal de la celosía y  $L_b$  su longitud.

Doble celosía en V invertida:

$$K_D = \frac{1}{2} \frac{EA_d f_{aux,d}^2}{8L_b} \quad \text{con} \quad f_{aux,d} = \frac{2b \left( 1 + \frac{2a_T - a_B}{a_B} \right)}{L_b}$$



donde  $A_d$  es el área de la diagonal de la celosía y  $L_b$  su longitud.

Diafragma tipo marco:

$$K_D = \frac{24 d_W}{a_B^2 b^2} C_1 C_2 EI_W$$



donde  $I_W$  es el momento de inercia del elemento del marco correspondiente al alma del cajón, obtenido añadiendo al rigidizador del alma un ancho colaborante a cada lado de  $15 \varepsilon t$ , con  $\varepsilon = \sqrt{(275/f_y)}$ ,  $f_y$  en  $N/mm^2$ .

Los parámetros  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $r_T$ ,  $r_B$  son:

$$C_1 = \frac{\left( 1 + \frac{a_B}{a_T} \right) \left( 2 + 2 \frac{a_B}{a_T} + 2 \left( \frac{a_B}{a_T} \right)^2 + \alpha_T + \alpha_B \left( \frac{a_B}{a_T} \right)^2 \right)}{3 + 3 \frac{a_B}{a_T} + \alpha_T + \alpha_B \frac{a_B}{a_T}}$$

$$C_2 = \frac{2 + 2 \frac{a_B}{a_T} + 2 \left( \frac{a_B}{a_T} \right)^2 + r_T + r_B \left( \frac{a_B}{a_T} \right)^2}{\frac{a_B}{a_T} [(r_T + 2)(r_B + 2) - 1]}$$

$$r_T = \frac{I_W b_T}{I_T d_W}$$

$$r_B = \frac{I_W b_B}{I_B d_W}$$

La tensión así obtenida coincide con la sobretensión distorsora en el cajón para el estado de cargas correspondiente a la distribución de torsores introducida.

### **A3.3.2 Cálculo de la deformación por distorsión**

La flecha obtenida en la viga equivalente coincide con el desplazamiento del alma en su plano debido a la distorsión de la sección transversal, lo que deberá considerarse en la verificación de los estados límite de servicio, cuando resulte relevante.

### **A3.3.3 Interacción entre el dimensionamiento de los diafragmas y el cálculo longitudinal**

La metodología general expuesta en A3.3 permite también relacionar la respuesta global del cajón con el dimensionamiento propio de los diafragmas, ya que las reacciones en los muelles elásticos del modelo de viga equivalente reflejan el reparto entre los distintos diafragmas de las acciones torsoras localizadas. Las limitaciones geométricas para la aplicación del método descrito en este apartado son las mismas ya enunciadas en el apartado anterior.

Las solicitaciones reales  $S_D$  sobre los distintos elementos que constituyen el diafragma pueden estimarse a partir de las obtenidas en la hipótesis de diafragmas totalmente rígidos  $S_{D,rígido}$ , del apartado a A3.2.2, por medio de la expresión:

$$S_D = F S_{D,rígido}$$

en la que el factor de proporcionalidad  $F$  viene dado por el cociente:

$$F = \frac{R_D}{R_{D,rígido}}$$

es decir, por la relación entre las reacciones en los muelles obtenidas en el modelo de viga equivalente y las que se obtienen en el mismo modelo suponiendo apoyos de rigidez infinita en las secciones donde se ubican los diafragmas.

El método permite, por tanto, optimizar el dimensionamiento de los diafragmas para unas solicitaciones en general inferiores a las que se obtienen con la hipótesis de máxima rigidez en la estimación de los esfuerzos sobre los diafragmas.

No obstante, siempre que los diafragmas se dimensionen considerando este reparto flexible entre diafragmas sucesivos de las solicitaciones generadas por la introducción de acciones torsoras localizadas, deberán asimismo considerarse los efectos de la distorsión en los controles en estados límite de servicio (deformaciones, plastificaciones locales y abolladura) y en el estado límite último de fatiga, superponiendo directamente las sobretensiones y deformaciones distorsoras a las obtenidas en el análisis del cajón como elemento tipo viga unidimensional.

En general, puede despreciarse la sobretensión distorsora en los controles en estados límite últimos, salvo fatiga, siempre que su valor mayorado no supere el 10% del límite elástico minorado del material.

## Anejo 4: Curvas europeas de pandeo

En este Anejo se recorren los valores "fuente" del coeficiente de reducción  $\chi$  de pandeo en función de la esbeltez relativa  $\bar{\lambda}$ , en forma de tablas  $\chi - \bar{\lambda}$ , para las diferentes curvas de pandeo consideradas.

*Curva "a<sub>0</sub>"*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	0.9983	0.9966	0.9948	0.9930	0.9910	0.9891	0.9872	0.9852	0.9833
0.3	0.9813	0.9794	0.9775	0.9756	0.9737	0.9719	0.9700	0.9682	0.9664	0.9645
0.4	0.9627	0.9608	0.9590	0.9571	0.9552	0.9533	0.9515	0.9496	0.9477	0.9459
0.5	0.9440	0.9421	0.9403	0.9384	0.9366	0.9346	0.9327	0.9308	0.9288	0.9269
0.6	0.9249	0.9229	0.9208	0.9188	0.9168	0.9148	0.9129	0.9108	0.9087	0.9065
0.7	0.9040	0.9013	0.8982	0.8949	0.8914	0.8876	0.8836	0.8794	0.8751	0.8708
0.8	0.8659	0.8610	0.8560	0.8509	0.8456	0.8401	0.8345	0.8267	0.8228	0.8166
0.9	0.8103	0.8039	0.7973	0.7905	0.7838	0.7765	0.7692	0.7618	0.7543	0.7467
1.0	0.7390	0.7313	0.7235	0.7157	0.7078	0.6999	0.6920	0.6840	0.6761	0.6681
1.1	0.6601	0.6522	0.6443	0.6364	0.6286	0.6208	0.6131	0.6055	0.5979	0.5904
1.2	0.5831	0.5758	0.5685	0.5614	0.5543	0.5473	0.5404	0.5336	0.5268	0.5202
1.3	0.5136	0.5071	0.5007	0.4944	0.4882	0.4820	0.4760	0.4701	0.4643	0.4586
1.4	0.4529	0.4474	0.4419	0.4366	0.4313	0.4261	0.4209	0.4159	0.4109	0.4060
1.5	0.4011	0.3964	0.3917	0.3871	0.3828	0.3781	0.3737	0.3694	0.3651	0.3610
1.6	0.3569	0.3528	0.3488	0.3449	0.3410	0.3372	0.3335	0.3298	0.3262	0.3226
1.7	0.3191	0.3156	0.3122	0.3089	0.3056	0.3023	0.2991	0.2959	0.2928	0.2898
1.8	0.2868	0.2838	0.2809	0.2780	0.2752	0.2724	0.2696	0.2669	0.2642	0.2618
1.9	0.2590	0.2564	0.2539	0.2514	0.2489	0.2465	0.2441	0.2418	0.2395	0.2372
2.0	0.2349	0.2327	0.2305	0.2284	0.2262	0.2241	0.2220	0.2200	0.2180	0.2160
2.1	0.2140	0.2121	0.2102	0.2083	0.2064	0.2046	0.2028	0.2010	0.1992	0.1974
2.2	0.1957	0.1940	0.1923	0.1907	0.1891	0.1875	0.1859	0.1843	0.1827	0.1812
2.3	0.1797	0.1782	0.1767	0.1753	0.1738	0.1724	0.1710	0.1696	0.1683	0.1669
2.4	0.1656	0.1642	0.1629	0.1616	0.1603	0.1591	0.1578	0.1566	0.1554	0.1542
2.5	0.1530	0.1518	0.1506	0.1495	0.1483	0.1472	0.1461	0.1450	0.1439	0.1428
2.6	0.1417	0.1407	0.1396	0.1386	0.1376	0.1366	0.1356	0.1346	0.1336	0.1326
2.7	0.1317	0.1307	0.1298	0.1289	0.1279	0.1270	0.1261	0.1253	0.1244	0.1235
2.8	0.1227	0.1216	0.1210	0.1201	0.1193	0.1185	0.1177	0.1169	0.1161	0.1153
2.9	0.1145	0.1138	0.1130	0.1123	0.1115	0.1108	0.1100	0.1093	0.1086	0.1079
3.0	0.1072	0.1065	0.1058	0.1051	0.1045	0.1038	0.1031	0.1025	0.1018	0.1012
3.1	0.1005	0.0999	0.0993	0.0987	0.0981	0.0975	0.0969	0.0963	0.0957	0.0951
3.2	0.0945	0.0939	0.0934	0.0928	0.0922	0.0917	0.0911	0.0906	0.0901	0.0895
3.3	0.0890	0.0885	0.0880	0.0874	0.0869	0.0864	0.0859	0.0854	0.0849	0.0844
3.4	0.0839	0.0834	0.0830	0.0825	0.0820	0.0815	0.0811	0.0806	0.0802	0.0797
3.5	0.0793	0.0788	0.0784	0.0779	0.0775	0.0771	0.0767	0.0762	0.0758	0.0754
3.6	0.0750									

Curva "a"

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	0.9981	0.9962	0.9942	0.9922	0.9900	0.9877	0.9854	0.9829	0.9805
0.3	0.9780	0.9756	0.9731	0.9706	0.9682	0.9657	0.9632	0.9607	0.9582	0.9556
0.4	0.9530	0.9504	0.9477	0.9449	0.9421	0.9392	0.9362	0.9330	0.9298	0.9265
0.5	0.9230	0.9193	0.9156	0.9117	0.9078	0.9039	0.9000	0.8961	0.8923	0.8885
0.6	0.8848	0.8810	0.8772	0.8733	0.8693	0.8652	0.8611	0.8570	0.8530	0.8489
0.7	0.8447	0.8404	0.8359	0.8312	0.8264	0.8214	0.8164	0.8115	0.8055	0.8015
0.8	0.7965	0.7914	0.7860	0.7806	0.7749	0.7692	0.7634	0.7575	0.7515	0.7455
0.9	0.7394	0.7333	0.7270	0.7207	0.7143	0.7078	0.7013	0.6947	0.6880	0.6813
1.0	0.6746	0.6678	0.6610	0.6541	0.6473	0.6404	0.6336	0.6267	0.6198	0.6130
1.1	0.6061	0.5993	0.5925	0.5858	0.5791	0.5725	0.5660	0.5595	0.5530	0.5466
1.2	0.5403	0.5339	0.5276	0.5213	0.5151	0.5090	0.5029	0.4970	0.4911	0.4854
1.3	0.4798	0.4742	0.4687	0.4633	0.4580	0.4527	0.4475	0.4423	0.4372	0.4321
1.4	0.4271	0.4221	0.4172	0.4124	0.4077	0.4030	0.3984	0.3939	0.3894	0.3850
1.5	0.3807	0.3764	0.3722	0.3681	0.3640	0.3600	0.3560	0.3521	0.3482	0.3444
1.6	0.3406	0.3369	0.3333	0.3297	0.3262	0.3227	0.3193	0.3159	0.3126	0.3094
1.7	0.3062	0.3031	0.3000	0.2970	0.2940	0.2910	0.2881	0.2852	0.2824	0.2796
1.8	0.2768	0.2741	0.2714	0.2687	0.2661	0.2635	0.2609	0.2583	0.2557	0.2532
1.9	0.2507	0.2482	0.2458	0.2434	0.2410	0.2387	0.2364	0.2342	0.2320	0.2298
2.0	0.2277	0.2256	0.2235	0.2215	0.2194	0.2174	0.2153	0.2133	0.2113	0.2094
2.1	0.2076	0.2056	0.2041	0.2024	0.2007	0.1990	0.1973	0.1956	0.1939	0.1923
2.2	0.1906	0.1890	0.1873	0.1857	0.1842	0.1826	0.1811	0.1795	0.1780	0.1766
2.3	0.1751	0.1737	0.1723	0.1709	0.1696	0.1682	0.1668	0.1655	0.1642	0.1628
2.4	0.1615	0.1602	0.1589	0.1576	0.1563	0.1551	0.1539	0.1527	0.1515	0.1503
2.5	0.1492	0.1482	0.1471	0.1461	0.1449	0.1437	0.1425	0.1414	0.1404	0.1394
2.6	0.1384	0.1373	0.1362	0.1351	0.1341	0.1332	0.1323	0.1313	0.1303	0.1294
2.7	0.1285	0.1275	0.1266	0.1256	0.1247	0.1238	0.1229	0.1220	0.1212	0.1203
2.8	0.1195	0.1187	0.1179	0.1171	0.1163	0.1155	0.1147	0.1140	0.1132	0.1124
2.9	0.1117	0.1110	0.1103	0.1096	0.1089	0.1082	0.1075	0.1068	0.1061	0.1055
3.0	0.1048	0.1041	0.1035	0.1028	0.1022	0.1015	0.1008	0.1002	0.0995	0.0988
3.1	0.0982	0.0976	0.0970	0.0964	0.0958	0.0952	0.0945	0.0940	0.0935	0.0929
3.2	0.0923	0.0917	0.0912	0.0906	0.0901	0.0895	0.0889	0.0884	0.0878	0.0873
3.3	0.0868	0.0863	0.0858	0.0854	0.0849	0.0844	0.0839	0.0834	0.0829	0.0824
3.4	0.0819	0.0814	0.0810	0.0806	0.0801	0.0797	0.0793	0.0788	0.0784	0.0779
3.5	0.0775	0.0771	0.0766	0.0762	0.0758	0.0754	0.0750	0.0746	0.0742	0.0738
3.6	0.0734									

*Curva "b"*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	0.9967	0.9933	0.9899	0.9865	0.9830	0.9795	0.9760	0.9724	0.9687
0.3	0.9650	0.9612	0.9573	0.9533	0.9493	0.9453	0.9412	0.9372	0.9331	0.9291
0.4	0.9250	0.9211	0.9171	0.9132	0.9093	0.9054	0.9014	0.8974	0.8933	0.8892
0.5	0.8850	0.8807	0.8762	0.8717	0.8671	0.8624	0.8577	0.8529	0.8480	0.8430
0.6	0.8380	0.8329	0.8278	0.8227	0.8174	0.8122	0.8068	0.8015	0.7960	0.7905
0.7	0.7850	0.7794	0.7738	0.7681	0.7624	0.7566	0.7508	0.7449	0.7390	0.7330
0.8	0.7270	0.7210	0.7148	0.7087	0.7024	0.6961	0.6897	0.6832	0.6766	0.6700
0.9	0.6633	0.6566	0.6500	0.6434	0.6369	0.6305	0.6241	0.6177	0.6114	0.6051
1.0	0.5987	0.5924	0.5861	0.5799	0.5737	0.5676	0.5615	0.5554	0.5495	0.5435
1.1	0.5376	0.5318	0.5260	0.5202	0.5145	0.5088	0.5031	0.4975	0.4919	0.4864
1.2	0.4809	0.4754	0.4700	0.4647	0.4593	0.4541	0.4489	0.4438	0.4387	0.4337
1.3	0.4288	0.4240	0.4192	0.4145	0.4098	0.4052	0.4007	0.3962	0.3918	0.3874
1.4	0.3831	0.3788	0.3746	0.3704	0.3663	0.3622	0.3582	0.3542	0.3503	0.3464
1.5	0.3426	0.3389	0.3352	0.3317	0.3281	0.3246	0.3212	0.3178	0.3144	0.3111
1.6	0.3078	0.3046	0.3014	0.2982	0.2950	0.2919	0.2888	0.2857	0.2826	0.2796
1.7	0.2766	0.2737	0.2709	0.2681	0.2654	0.2617	0.2601	0.2576	0.2551	0.2526
1.8	0.2502	0.2478	0.2455	0.2431	0.2408	0.2385	0.2362	0.2340	0.2317	0.2295
1.9	0.2273	0.2251	0.2230	0.2208	0.2188	0.2167	0.2147	0.2127	0.2108	0.2089
2.0	0.2070	0.2052	0.2034	0.2016	0.1999	0.1982	0.1965	0.1948	0.1931	0.1914
2.1	0.1897	0.1880	0.1864	0.1848	0.1833	0.1818	0.1804	0.1790	0.1776	0.1761
2.2	0.1746	0.1730	0.1715	0.1701	0.1688	0.1675	0.1662	0.1648	0.1625	0.1621
2.3	0.1607	0.1594	0.1580	0.1567	0.1555	0.1542	0.1530	0.1518	0.1506	0.1494
2.4	0.1483	0.1471	0.1460	0.1449	0.1438	0.1427	0.1417	0.1407	0.1397	0.1387
2.5	0.1377	0.1366	0.1356	0.1346	0.1336	0.1327	0.1319	0.1311	0.1303	0.1293
2.6	0.1283	0.1273	0.1263	0.1253	0.1244	0.1237	0.1230	0.1222	0.1214	0.1206
2.7	0.1198	0.1190	0.1182	0.1174	0.1166	0.1158	0.1150	0.1142	0.1134	0.1127
2.8	0.1119	0.1111	0.1104	0.1096	0.1088	0.1081	0.1074	0.1066	0.1059	0.1052
2.9	0.1045	0.1038	0.1031	0.1024	0.1017	0.1010	0.1003	0.0997	0.0990	0.0983
3.0	0.0977	0.0971	0.0964	0.0958	0.0951	0.0945	0.0939	0.0932	0.0926	0.0920
3.1	0.0914	0.0908	0.0902	0.0896	0.0891	0.0885	0.0879	0.0874	0.0868	0.0863
3.2	0.0857	0.0852	0.0846	0.0841	0.0835	0.0830	0.0825	0.0819	0.0814	0.0809
3.3	0.0804	0.0799	0.0794	0.0789	0.0784	0.0779	0.0774	0.0769	0.0764	0.0760
3.4	0.0755	0.0750	0.0746	0.0742	0.0737	0.0733	0.0729	0.0724	0.0720	0.0716
3.5	0.0712	0.0708	0.0704	0.0700	0.0697	0.0693	0.0689	0.0686	0.0682	0.0679
3.6	0.0675									

*Curva "c"*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	0.9949	0.9899	0.9849	0.9799	0.9750	0.9702	0.9654	0.9606	0.9558
0.3	0.9510	0.9461	0.9412	0.9362	0.9312	0.9261	0.9210	0.9158	0.9106	0.9053
0.4	0.9000	0.8947	0.8893	0.8838	0.8783	0.8727	0.8671	0.8613	0.8555	0.8496
0.5	0.8436	0.8376	0.8316	0.8256	0.8196	0.8136	0.8076	0.8015	0.7954	0.7892
0.6	0.7829	0.7766	0.7701	0.7636	0.7571	0.7506	0.7441	0.7377	0.7314	0.7250
0.7	0.7187	0.7124	0.7060	0.6997	0.6933	0.6869	0.6804	0.6738	0.6673	0.6608
0.8	0.6543	0.6478	0.6416	0.6353	0.6292	0.6232	0.6171	0.6111	0.6051	0.5991
0.9	0.5931	0.5871	0.5812	0.5754	0.5696	0.5640	0.5584	0.5529	0.5474	0.5421
1.0	0.5368	0.5315	0.5263	0.5211	0.5159	0.5108	0.5057	0.5006	0.4956	0.4906
1.1	0.4856	0.4807	0.4758	0.4710	0.4662	0.4614	0.4567	0.4521	0.4471	0.4428
1.2	0.4383	0.4338	0.4293	0.4249	0.4205	0.4162	0.4119	0.4076	0.4034	0.3993
1.3	0.3952	0.3911	0.3871	0.3832	0.3792	0.3754	0.3715	0.3678	0.3640	0.3604
1.4	0.3567	0.3532	0.3496	0.3462	0.3427	0.3393	0.3360	0.3328	0.3295	0.3263
1.5	0.3232	0.3211	0.3170	0.3139	0.3109	0.3078	0.3048	0.3018	0.2989	0.2959
1.6	0.2930	0.2900	0.2871	0.2842	0.2813	0.2785	0.2758	0.2731	0.2704	0.2678
1.7	0.2652	0.2626	0.2600	0.2575	0.2550	0.2525	0.2501	0.2478	0.2455	0.2432
1.8	0.2410	0.2388	0.2366	0.2345	0.2324	0.2303	0.2282	0.2262	0.2242	0.2222
1.9	0.2203	0.2184	0.2165	0.2146	0.2128	0.2110	0.2092	0.2075	0.2058	0.2041
2.0	0.2024	0.2007	0.1991	0.1974	0.1958	0.1942	0.1926	0.1910	0.1895	0.1879
2.1	0.1864	0.1850	0.1837	0.1823	0.1807	0.1790	0.1774	0.1759	0.1745	0.1731
2.2	0.1718	0.1703	0.1688	0.1674	0.1662	0.1650	0.1637	0.1624	0.1611	0.1598
2.3	0.1585	0.1572	0.1560	0.1548	0.1536	0.1524	0.1512	0.1501	0.1489	0.1478
2.4	0.1467	0.1456	0.1445	0.1435	0.1424	0.1414	0.1404	0.1394	0.1385	0.1375
2.5	0.1366	0.1357	0.1347	0.1337	0.1328	0.1318	0.1308	0.1300	0.1292	0.1283
2.6	0.1273	0.1261	0.1250	0.1244	0.1237	0.1230	0.1222	0.1214	0.1205	0.1196
2.7	0.1188	0.1181	0.1173	0.1165	0.1158	0.1150	0.1142	0.1135	0.1128	0.1120
2.8	0.1113	0.1106	0.1098	0.1091	0.1084	0.1077	0.1070	0.1063	0.1056	0.1050
2.9	0.1043	0.1036	0.1030	0.1023	0.1017	0.1010	0.1003	0.0997	0.0990	0.0984
3.0	0.0977	0.0971	0.0964	0.0958	0.0951	0.0945	0.0939	0.0932	0.0926	0.0920
3.1	0.0914	0.0908	0.0902	0.0896	0.0891	0.0885	0.0879	0.0874	0.0868	0.0863
3.2	0.0857	0.0852	0.0846	0.0841	0.0835	0.0830	0.0825	0.0819	0.0814	0.0809
3.3	0.0804	0.0799	0.0794	0.0789	0.0784	0.0779	0.0774	0.0769	0.0764	0.0760
3.4	0.0755	0.0750	0.0746	0.0742	0.0737	0.0733	0.0729	0.0724	0.0720	0.0716
3.5	0.0712	0.0708	0.0704	0.0700	0.0697	0.0693	0.0689	0.0686	0.0682	0.0679
3.6	0.0675									

*Curva "d"*

$\bar{\lambda}$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	0.9916	0.9829	0.9742	0.9656	0.9570	0.9487	0.9405	0.9325	0.9247
0.3	0.9170	0.9093	0.9017	0.8941	0.8866	0.8790	0.8713	0.8637	0.8560	0.8483
0.4	0.8407	0.8332	0.8259	0.8187	0.8115	0.8044	0.7974	0.7903	0.7833	0.7762
0.5	0.7691	0.7620	0.7549	0.7478	0.7407	0.7336	0.7266	0.7196	0.7126	0.7057
0.6	0.6989	0.6921	0.6853	0.6786	0.6719	0.6653	0.6587	0.6522	0.6457	0.6393
0.7	0.6329	0.6265	0.6202	0.6140	0.6078	0.6017	0.5957	0.5897	0.5837	0.5776
0.8	0.5720	0.5662	0.5605	0.5549	0.5493	0.5438	0.5383	0.5329	0.5276	0.5223
0.9	0.5171	0.5119	0.5067	0.5018	0.4988	0.4919	0.4870	0.4821	0.4774	0.4727
1.0	0.4681	0.4635	0.4589	0.4544	0.4500	0.4456	0.4413	0.4370	0.4328	0.4286
1.1	0.4244	0.4204	0.4163	0.4123	0.4084	0.4045	0.4006	0.3968	0.3930	0.3892
1.2	0.3855	0.3819	0.3782	0.3746	0.3711	0.3676	0.3641	0.3606	0.3972	0.3538
1.3	0.3505	0.3472	0.3439	0.3407	0.3375	0.3343	0.3312	0.3281	0.3250	0.3219
1.4	0.3189	0.3159	0.3130	0.3101	0.3072	0.3043	0.3016	0.2987	0.2959	0.2932
1.5	0.2905	0.2878	0.2862	0.2826	0.2800	0.2774	0.2749	0.2724	0.2700	0.2675
1.6	0.2651	0.2627	0.2603	0.2580	0.2557	0.2534	0.2511	0.2489	0.2467	0.2445
1.7	0.2423	0.2402	0.2381	0.2360	0.2339	0.2319	0.2299	0.2279	0.2259	0.2239
1.8	0.2220	0.2201	0.2182	0.2163	0.2145	0.2126	0.2100	0.2090	0.2073	0.2055
1.9	0.2038	0.2021	0.2004	0.1988	0.1971	0.1955	0.1939	0.1923	0.1907	0.1891
2.0	0.1876	0.1861	0.1846	0.1831	0.1816	0.1802	0.1787	0.1773	0.1759	0.1745
2.1	0.1731	0.1717	0.1704	0.1691	0.1677	0.1664	0.1651	0.1639	0.1626	0.1614
2.2	0.1601	0.1589	0.1577	0.1565	0.1553	0.1542	0.1530	0.1519	0.1507	0.1496
2.3	0.1485	0.1474	0.1463	0.1452	0.1442	0.1431	0.1421	0.1410	0.1400	0.1390
2.4	0.1380	0.1370	0.1361	0.1351	0.1341	0.1332	0.1322	0.1313	0.1304	0.1295
2.5	0.1286	0.1277	0.1268	0.1259	0.1251	0.1242	0.1234	0.1225	0.1217	0.1209
2.6	0.1201	0.1193	0.1185	0.1177	0.1169	0.1161	0.1153	0.1146	0.1138	0.1131
2.7	0.1123	0.1116	0.1109	0.1101	0.1094	0.1087	0.1080	0.1073	0.1066	0.1059
2.8	0.1052	0.1045	0.1038	0.1031	0.1024	0.1018	0.1011	0.1004	0.0998	0.0991
2.9	0.0985	0.0978	0.0972	0.0965	0.0959	0.0952	0.0946	0.0940	0.0934	0.0927
3.0	0.0921									

# Anejo 5: Longitud de pandeo de elementos comprimidos

## A5.1 Generalidades

La longitud de pandeo  $L_{cr}$  de un elemento comprimido es la longitud de otro elemento similar con los "extremos articulados" (extremos que no pueden desplazarse lateralmente, pero que están libres para girar en el plano de pandeo) que tenga la misma resistencia al pandeo.

En ausencia de más información, y de forma conservadora, podrá adoptarse como longitud de pandeo la longitud teórica de pandeo para el pandeo elástico.

Podrá usarse una longitud equivalente de pandeo para relacionar la resistencia a pandeo de un elemento sometido a esfuerzo axial no uniforme con la de otro elemento similar sometido a esfuerzo axial uniforme.

También podrá usarse una longitud equivalente de pandeo para relacionar la resistencia a pandeo de un elemento de sección transversal no constante con la de otro elemento uniforme sometido a condiciones similares de esfuerzo y condiciones de vinculación.

## A5.2 Soportes de estructuras o pórticos de edificios

La longitud de pandeo  $L_{cr}$  de un soporte de un pórtico intraslacional (modo de nudos fijos) puede obtenerse de la figura A5.2.a

La longitud de pandeo  $L_{cr}$  de un soporte de un pórtico traslacional (modo de nudos desplazables) puede obtenerse a partir de la figura A5.2.b.

Para los modelos teóricos que se muestran en la figura A5.2.c, los coeficientes de distribución  $\eta_1$  y  $\eta_2$  se obtienen de:

$$\eta_1 = K_c / (K_c + K_{11} + K_{12})$$

$$\eta_2 = K_c / (K_c + K_{21} + K_{22})$$

siendo:

$K_c$  Coeficiente de rigidez del pilar  $I/L$ .

$K_{ij}$  Coeficiente de rigidez efectiva de la viga.

Dichos modelos pueden adaptarse para el dimensionamiento de soportes continuos, suponiendo que cada tramo longitudinal del soporte está solicitado hasta el mismo valor de la relación  $(N/N_{cr})$ . En el caso general de que  $(N/N_{cr})$  varíe, esto conduce a un valor conservador de  $L_{cr}/L$  para la longitud más crítica del pilar.

Para cada tramo longitudinal de un soporte continuo podrá considerarse la hipótesis mencionada en el párrafo anterior, utilizando entonces el modelo indicado en la figura A5.2.d y obteniendo los coeficientes de distribución  $\eta_1$  y  $\eta_2$  a partir de:

$$\eta_1 = (K_c + K_1) / (K_c + K_1 + K_{11} + K_{12})$$

$$\eta_2 = (K_c + K_2) / (K_c + K_2 + K_{21} + K_{22})$$

donde  $K_1$  y  $K_2$  son los coeficientes de rigidez para los tramos longitudinales adyacentes del soporte.

Cuando las vigas no se vean sometidas a esfuerzos axiales, sus coeficientes de rigidez efectiva pueden determinarse de acuerdo con la tabla A5.2.a, siempre que se encuentren en régimen elástico.

Tabla A5.2.a. Coeficiente de rigidez efectiva para una viga

Condiciones de coacción al giro en el extremo alejado de la viga	Coeficiente de rigidez efectiva K de la viga (siempre que ésta permanezca en régimen elástico)
Empotrada en el extremo alejado	1,0 I/L
Articulada en el extremo alejado	0,75 I/L
Giro igual al del extremo próximo (curvatura doble)	1,5 I/L
Giro igual y opuesto al del extremo próximo (curvatura simple)	0,5 I/L
Caso general. Giro $\theta_a$ en el extremo próximo y $\theta_b$ en el extremo alejado	$(1 + 0,5 \theta_b/\theta_a)$ I/L

Para pórticos de edificios con forjados de losa de hormigón, siempre que el pórtico o estructura sea de trazado geométrico regular y que la carga sea uniforme, normalmente es suficientemente preciso suponer que los coeficientes de rigidez efectiva de las vigas son los que se indican en la tabla A5.2.b.

Tabla A5.2.b. Coeficiente de rigidez efectiva para vigas de un pórtico de edificio con forjado de losa de hormigón

Condiciones de carga para la viga	Pórtico intraslacional	Pórtico traslacional
Vigas que soportan directamente los forjados de losa de hormigón	1,0 I/L	1,0 I/L
Otras vigas con cargas directas	0,75 I/L	1,0 I/L
Vigas con sólo momentos en los extremos	0,5 I/L	1,5 I/L

Cuando para el mismo caso de carga, el valor de cálculo del momento flector en cualquiera de las vigas supere el valor  $W_{el fy} / \gamma_{MO}$ , deberá suponerse que la viga está articulada en el punto o puntos correspondientes.

Cuando una viga tenga uniones nominalmente articuladas, deberá suponerse que está articulada en el punto o puntos correspondientes.

Cuando en una viga se dispongan uniones semirrígidas, su coeficiente de rigidez efectiva deberá reducirse adecuadamente.

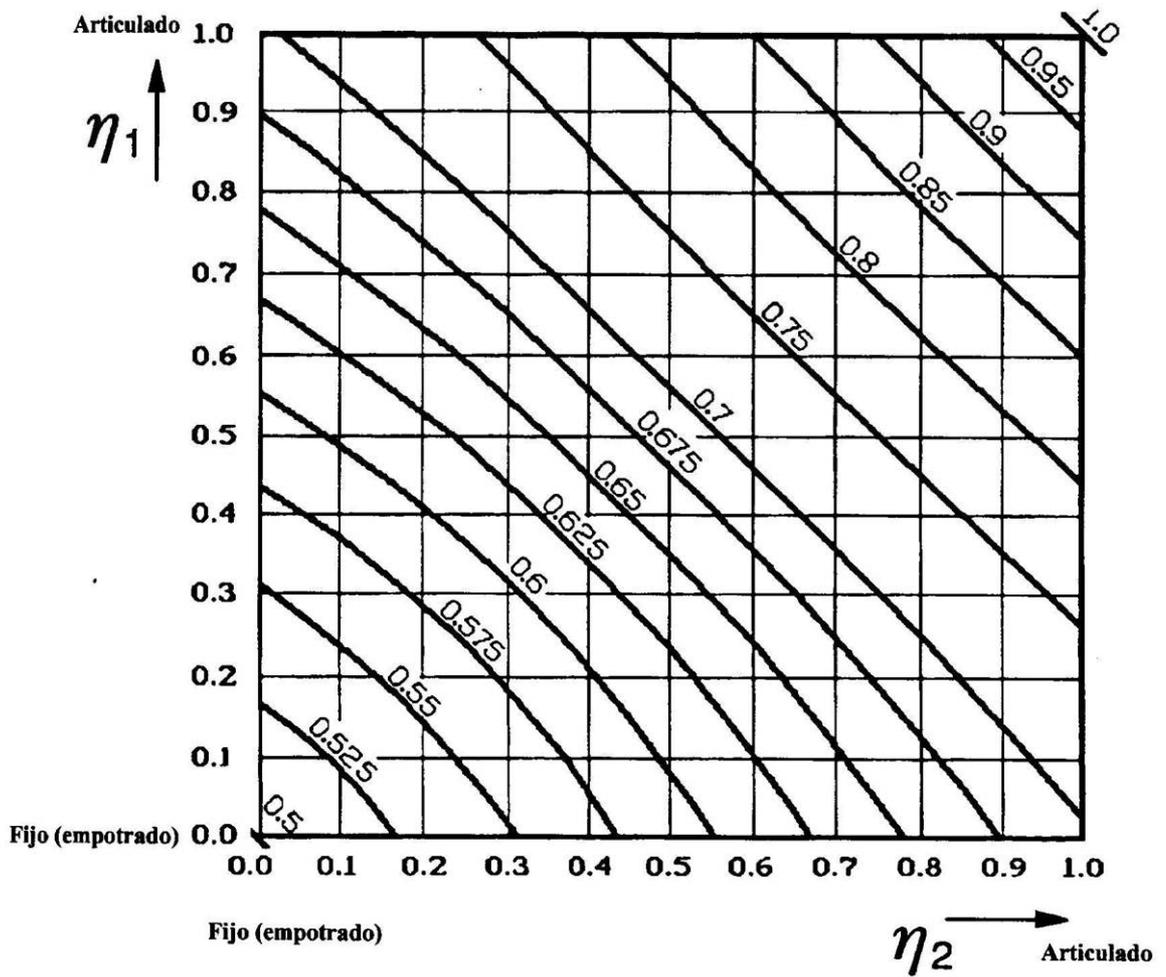


Figura A5.2.a. Relación  $L_{cr}/L$  de longitud de pandeo (coeficiente  $\beta$ ) para un soporte de pórtico intraslacional (de nudos fijos)

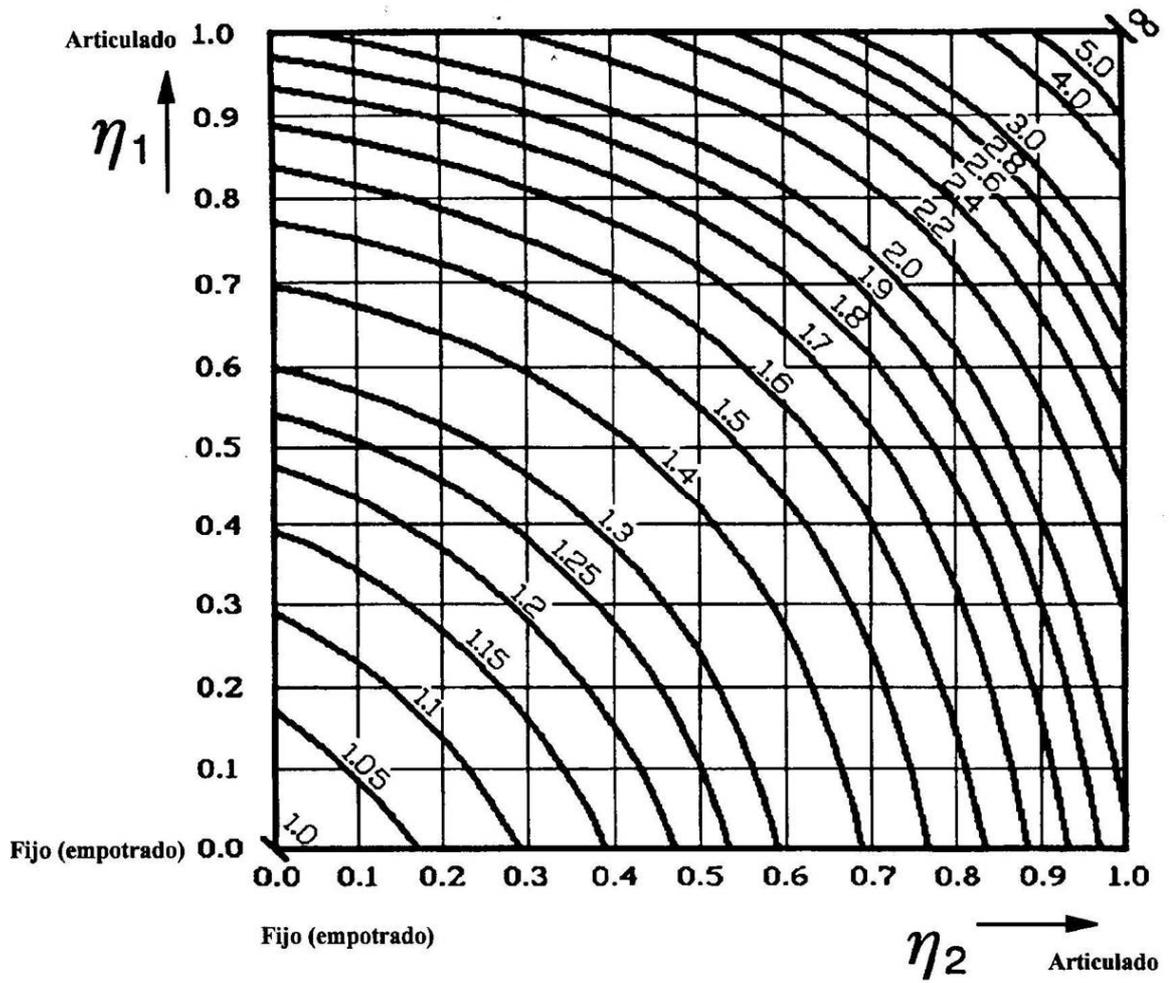
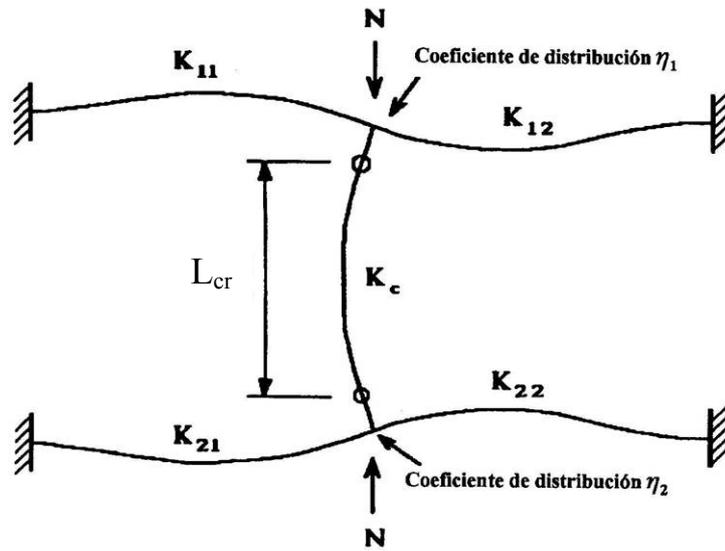
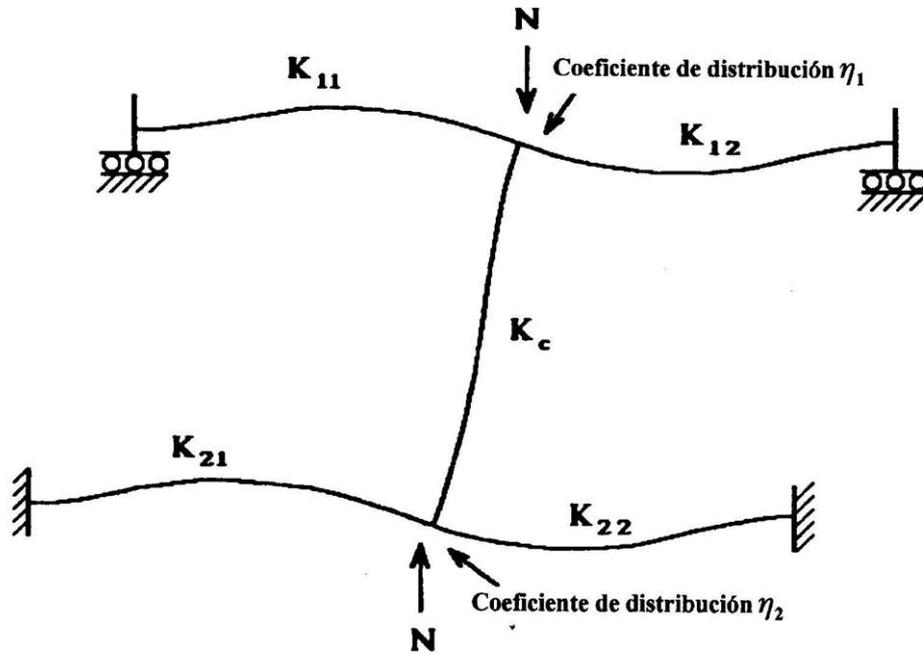


Figura A5.2.b. Relación  $L_{cr}/L$  de longitud de pandeo (coeficiente  $\beta$ ) para un soporte de pórtico traslacional (de nudos desplazables)

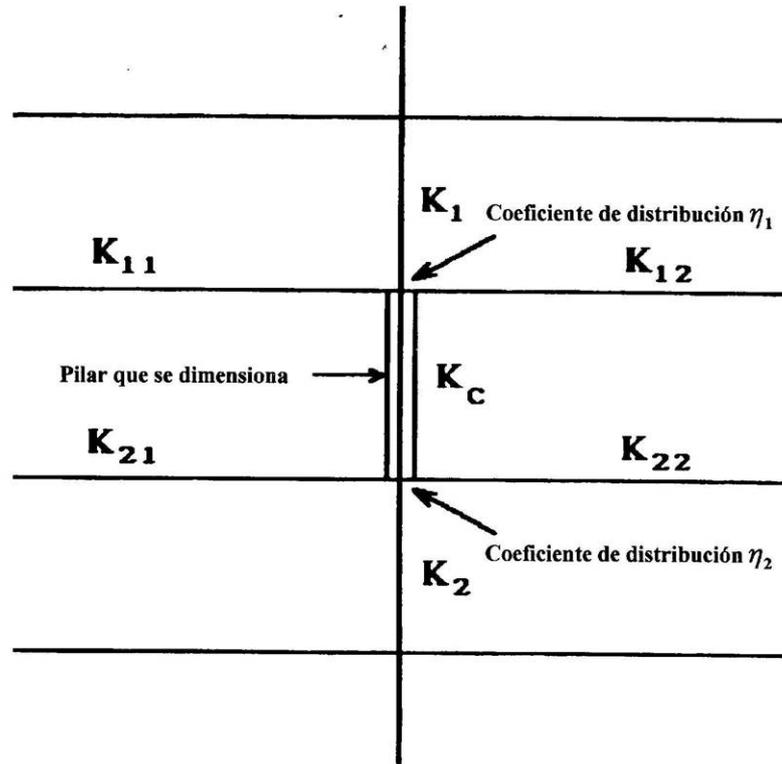


a) Modo intraslacional (pandeo con nudos fijos)



b) Modo traslacional (pandeo con nudos desplazables)

Figura A5.2.c. Coeficientes de distribución para soportes



$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

Figura A5.2.d. Coeficientes de distribución para soportes continuos

Cuando las vigas se vean solicitadas por esfuerzo axial, sus coeficientes de rigidez efectiva se deberán ajustar adecuadamente. Pueden usarse para ello funciones de estabilidad. De una manera alternativa simple, puede desprejarse el incremento del coeficiente de rigidez debido a la existencia de un esfuerzo axial de tracción y considerar la influencia de la existencia de un esfuerzo axial de compresión mediante la utilización de las aproximaciones conservadoras que se dan en la tabla A5.2.c.

Tabla A5.2.c. Fórmulas aproximadas para coeficientes de rigidez de viga, reducidos debido a la existencia de esfuerzo axial de compresión

Condiciones de coacción al giro en el extremo alejado de la viga	Coefficiente de rigidez efectiva K de la viga (siempre que ésta permanezca en el rango elástico)
Empotrada en el extremo alejado	1,0 I/L (1 – 0,4 N/N <sub>E</sub> )
Articulada en el extremo alejado	0,75 I/L (1– 1,0 N/N <sub>E</sub> )
Giro igual al del extremo próximo (curvatura doble)	1,5 I/L (1 – 0,2 N/N <sub>E</sub> )
Giro igual y opuesto al del extremo próximo (curvatura simple)	0,5 I/L (1 – 1,0 N/N <sub>E</sub> )

En esta tabla,  $N_E = \pi^2 EI/L^2$

Las expresiones empíricas que se dan a continuación pueden emplearse como aproximaciones conservadoras en lugar de los valores resultantes de las figuras A5.2.a y A5.2.b:

a) Modo intraslacional (figura A5.2.a):

$$\frac{L_{cr}}{L} = 0,5 + 0,14(\eta_1 + \eta_2) + 0,055(\eta_1 + \eta_2)^2$$

b) Modo traslacional (figura A5.2.b):

$$\frac{L_{cr}}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2(\eta_1 + \eta_2) - 0,12\eta_1\eta_2}{1 - 0,8(\eta_1 + \eta_2) + 0,6\eta_1\eta_2}}$$

# Anejo 6: Elementos planos rigidizados longitudinalmente

## A6.1 Generalidades

Este Anejo ofrece un conjunto de reglas para tener en cuenta en estado límite último los efectos de la abolladura local en elementos planos rigidizados, ocasionados por tensiones longitudinales, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Los paneles son rectangulares y las alas son paralelas, o casi paralelas con un ángulo de inclinación límite de 10°.
- En caso de existir rigidizadores, éstos están dispuestos en la dirección longitudinal y/o transversal.
- Si existen agujeros o cortes, éstos son de dimensiones reducidas.
- Los elementos estructurales considerados son de sección transversal uniforme.
- No se produce abolladura del alma inducida por el ala.

## A6.2 Resistencia frente a tensiones longitudinales

La resistencia de elementos estructurales planos rigidizados sometidos a tensiones longitudinales puede determinarse empleando las secciones reducidas de los elementos de placa en compresión que se utilizan para el cálculo de las características seccionales de una sección de clase 4 ( $A_{ef}$ ,  $I_{ef}$ ,  $W_{ef}$ ), con el fin de llevar a cabo las comprobaciones de la resistencia de las secciones y de los elementos frente a pandeo y pandeo lateral, de acuerdo con los apartados 35.1 y 35.2 del Capítulo IX.

Las secciones reducidas pueden determinarse en base a lo expuesto en el Artículo 20°, y en particular en el apartado 20.7, del Capítulo V. Asimismo, deberá considerarse la influencia del arrastre por cortante. Las secciones reducidas, considerando ambos efectos, se obtendrán de acuerdo con lo expuesto en los apartados 21.5 y 34.1.2.5.

## A6.3 Elementos planos de chapa sin rigidización longitudinal

Las áreas reducidas de elementos planos comprimidos se definen en las tablas 20.7.a y 20.7.b del apartado 20.7 para el caso de elementos sin bordes libres (paneles interiores) y el caso de elementos con un borde libre, respectivamente. Excepto para las comprobaciones en estados límite últimos de elementos susceptibles de problemas de inestabilidad, tratados en los apartados 35.1 y 35.2, y 35.3 del Capítulo IX, los anchos reducidos de los paneles comprimidos de secciones transversales de clase 4 pueden estimarse, de forma menos conservadora, a partir de un valor más reducido de la esbeltez de placa  $\bar{\lambda}_p$ , calculado éste a partir de los valores de la tensión o deformación máxima en el panel comprimido, obtenidos éstos considerando ya los anchos reducidos de todos los paneles parcial o totalmente comprimidos de la sección transversal:

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{c,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}} < \bar{\lambda}_p$$

En esta expresión  $\sigma_{c,Ed}$  es el valor máximo de la tensión de compresión de cálculo en el elemento plano, determinado utilizando el área reducida de la sección, teniendo en cuenta todas las acciones que actúan simultáneamente.

El procedimiento descrito en el párrafo anterior resulta conservador y requiere un proceso de cálculo iterativo, tal como se expone en el apartado 20.7 del Capítulo V.

Para paneles de chapa con relaciones de aspecto  $a/b < 1$  (a es la distancia entre bordes cargados), puede tener lugar un pandeo tipo columna. Entonces, la comprobación se llevará a cabo de acuerdo con lo que se establece en el apartado A6.4.4 de este Anejo, utilizando el coeficiente de reducción  $\rho_c$  de inestabilidad del panel (comportamiento tipo placa y comportamiento tipo pandeo de columna). Este es el caso de elementos planos de chapa entre rigidizadores transversales en donde la inestabilidad de la placa puede aproximarse al pandeo tipo columna, requiriéndose un coeficiente de reducción  $\rho_c$ , cercano al valor de  $\chi_c$  para el pandeo de soportes (ver figuras A6.3.a y A6.3.b). Para chapas con rigidizadores longitudinales, el pandeo tipo columna también puede aparecer para relaciones de aspecto  $a/b$  mayor o igual a la unidad.

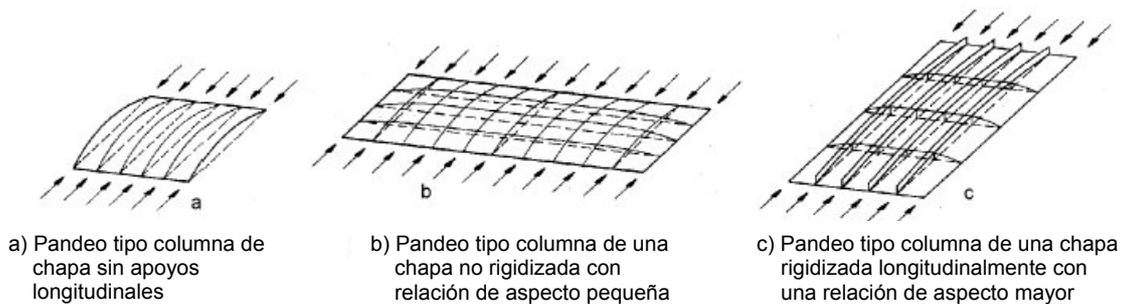


Figura A6.3. Pandeo tipo columna

## A6.4 Elementos planos de chapa con rigidización longitudinal

### A6.4.1 Consideraciones generales

Para elementos planos de chapa rigidizados longitudinalmente deberán considerarse las áreas de las secciones reducidas de los diferentes subpaneles entre rigidizadores frente a abolladura local y el área de la sección reducida del panel rigidizado para la consideración de la abolladura global.

El área reducida de cada subpanel deberá determinarse mediante un coeficiente de reducción de acuerdo con lo expuesto en el apartado A6.3 (ver apartado 20.7), para así tener en cuenta la abolladura local. Se procede de la misma manera con los subpaneles en que pueden descomponerse los propios rigidizadores longitudinales (no obstante, éstos se suelen dimensionar de forma que sean de clase 1 ó 2, con lo que en ellos habitualmente el coeficiente de reducción por abolladura local será igual a la unidad).

El panel rigidizado, teniendo en cuenta las posibles áreas reducidas de los rigidizadores, deberá comprobarse frente a abolladura global (por ejemplo, mediante la

consideración de dicho panel como una placa ortótropa equivalente), determinándose un coeficiente de reducción  $\rho_c$ , correspondiente a la comprobación frente a la abolladura del panel, en conjunto.

El área de la sección reducida de la zona comprimida del panel rigidizado se calculará según la siguiente expresión:

$$A_{c,ef} = \rho_c \cdot A_{c,ef,loc} + \sum b_{bor,ef} t$$

donde  $A_{c,ef,loc}$  es la suma de las áreas reducidas de todos los rigidizadores y los subpaneles que se encuentran, totalmente o en parte, en la zona comprimida, exceptuando aquellas partes reducidas soportadas por un panel de chapa adyacente con un ancho  $b_{bor,ef}$ , tal y como se muestra en el ejemplo de la figura A6.4.1.

El área  $A_{c,ef,loc}$  se obtiene de la siguiente expresión:

$$A_{c,ef,loc} = A_{sl,ef} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t$$

donde:

$\sum_c$  Aplica al ancho de panel rigidizado que se encuentra comprimido, exceptuando las partes correspondientes de los bordes  $b_{bor,ef}$ .

$A_{sl,ef}$  Suma de las áreas reducidas de todos los rigidizadores longitudinales con área bruta  $A_{sl}$  que se encuentran en la zona comprimida, calculadas según lo establecido en el apartado A6.3 de este Anejo (ver apartado 20.7).

$b_{c,loc}$  Ancho de la parte comprimida de cada subpanel.

$\rho_{loc}$  Coeficiente de reducción para cada subpanel calculado según A6.3 (ver apartado 20.7).

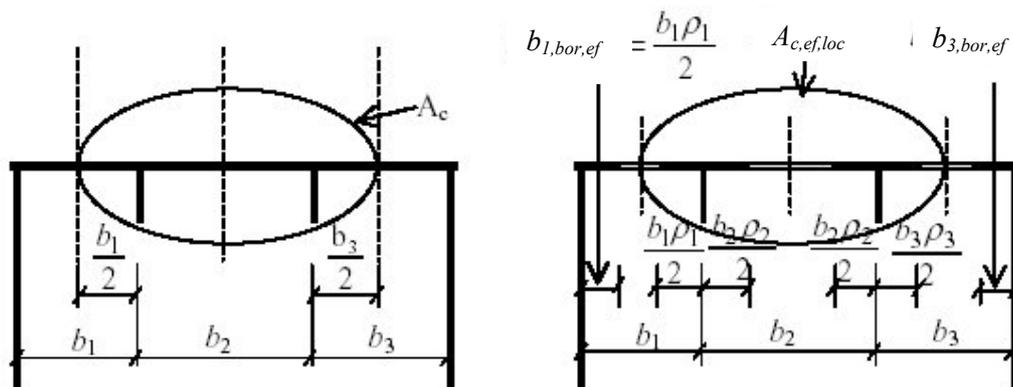


Figura A6.4.1. Definición del área bruta  $A_c$  y del área reducida  $A_{c,ef,loc}$  para elementos planos rigidizados sometidos a compresión uniforme

Para la determinación del coeficiente de reducción global  $\rho_c$  que tenga en cuenta la inestabilidad del panel en su conjunto, debe considerarse la posibilidad que se

produzca el pandeo tipo columna, el cual determina un coeficiente de reducción más severo que el que pueda provenir de la abolladura de placa.

El procedimiento para llevar a cabo esta comprobación y determinar  $\rho_c$  se basa en una interpolación entre el coeficiente de reducción  $\rho$  relativo a la abolladura de placa y el coeficiente de reducción  $\chi_c$  para la consideración del pandeo tipo columna. Dicha interpolación se define más adelante en el apartado A6.4.4.

En aquellos casos en los que la influencia del arrastre por cortante sea significativa (ver apartados 21.5 y 34.1.2.5), el área de la sección reducida eficaz definitiva  $A_{c,ef}$  de la zona comprimida de la placa rigidizada debe tomarse como  $A_{c,ef}^*$  de modo que se tenga en cuenta el efecto del arrastre por cortante además de los efectos de la abolladura de la placa.

El área de la sección eficaz de la zona traccionada de la placa rigidizada será igual al área de la sección bruta de la zona traccionada reducida por el efecto del arrastre por cortante, en el caso de que éste deba ser considerado.

El módulo resistente  $W_{ef}$  de la sección reducida eficaz se obtendrá como el cociente entre la inercia de la sección reducida eficaz y la distancia entre el centro de gravedad de dicha sección y el plano medio del ala.

#### **A6.4.2 Comportamiento de placa**

La esbeltez relativa de placa  $\bar{\lambda}_p$  de la placa equivalente se define como:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,p}}}$$

siendo:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,ef,loc}}{A_c}$$

donde:

$A_c$  Sección bruta de la zona comprimida de la placa rigidizada exceptuando las partes de subpaneles soportadas por un panel de placa adyacente (ver figura A6.4.1) (que deberá multiplicarse por el coeficiente de arrastre por cortante en caso de ser necesario).

$A_{c,ef,loc}$  Área reducida de la misma parte de la placa, calculada teniendo en cuenta la posible abolladura de los diferentes subpaneles y/o de los elementos planos de rigidización.

El coeficiente de reducción  $\rho$  para una placa equivalente se obtiene de la expresión dada para elementos planos sin rigidización (ver apartado 20.7 del Capítulo V).

Para determinar el valor de  $\bar{\lambda}_p$  a través de la expresión anterior, debe conocerse el valor de la tensión  $\sigma_{cr,p}$ . En los dos siguientes subapartados se presentan respectivamente dos métodos diferentes para determinar el valor de dicha tensión, cada uno de los cuales es particularmente aplicable a tipos específicos de paneles rigidizados.

#### A6.4.2.1 Rigidizadores longitudinales múltiples. Concepto de chapa ortótropa equivalente.

Los paneles de chapa rigidizados con más de dos rigidizadores longitudinales pueden ser considerados como chapas ortótropas. La idea básica consiste en distribuir la rigidez de los rigidizadores longitudinales a través del ancho de la chapa. Conceptualmente, ello lleva a sustituir la chapa rigidizada de forma discreta por una chapa ortótropa equivalente. La tensión crítica de abolladura de la chapa equivalente puede obtenerse como:

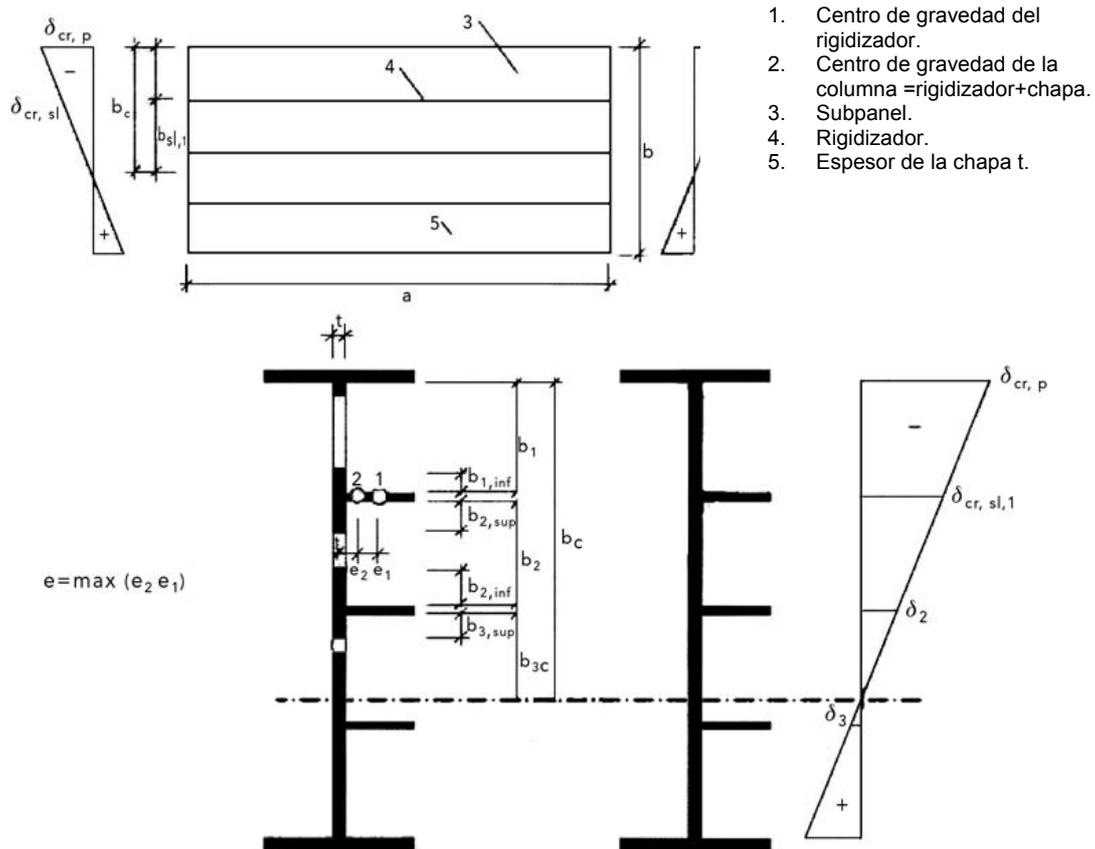
$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \sigma_E$$

donde:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2) b^2}$$

b Dimensión del panel sometido a tensiones longitudinales (ver figura A6.4.2.1).

La tensión  $\sigma_{cr,p}$  es la tensión crítica de abolladura de chapa, en el borde del panel en donde aparece la máxima tensión de compresión (ver figura A6.4.2.1).



	Ancho para el área bruta	Ancho reducido	Condición para $\Psi_i$
$b_{1,inf}$	$\frac{3 - \Psi_1}{5 - \Psi_1} b_1$	$\frac{3 - \Psi_1}{5 - \Psi_1} b_{1,ef}$	$\Psi_1 = \frac{\sigma_{cr,sl,1}}{\sigma_{cr,p}} > 0$
$b_{2,sup}$	$\frac{2}{5 - \Psi_2} b_2$	$\frac{2}{5 - \Psi_2} b_{2,ef}$	$\Psi_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr,sl,1}} > 0$
$b_{2,inf}$	$\frac{3 - \Psi_2}{5 - \Psi_2} b_2$	$\frac{3 - \Psi_2}{5 - \Psi_2} b_{2,ef}$	$\Psi_2 > 0$
$b_{3,sup}$	$0,4b_{3c}$	$0,4b_{3c,ef}$	$\Psi_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_2} < 0$

Figura A6.4.2.1. Notación utilizada para elementos planos rigidizados longitudinalmente.

El coeficiente  $k_{\sigma,p}$  es el coeficiente de abolladura, obtenido de acuerdo con la teoría de la placa ortótropa, considerando los rigidizadores longitudinales distribuidos

de manera uniforme sobre la placa. Dicho coeficiente de abolladura  $k_{\sigma,p}$  del panel rigidizado se puede obtener a partir de diagramas apropiados para rigidización distribuida o para rigidizadores ubicados de manera discreta, o mediante simulación numérica.

En el caso de comprobación de un panel de alma, el ancho  $b$  de la ecuación presentada anteriormente deberá sustituirse por el canto del alma  $h_w$ .

Para chapas rigidizadas con al menos tres rigidizadores longitudinales equiespaciados, el coeficiente de abolladura de la placa  $k_{\sigma,p}$  (abolladura global del panel rigidizado) se puede aproximar mediante la siguiente expresión:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2((1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1)}{\alpha^2(\psi + 1)(1 + \delta)} \quad \text{si } \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma}$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4(1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1)(1 + \delta)} \quad \text{si } \alpha > \sqrt[4]{\gamma}$$

con:  $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \geq 0,5$

$$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$$

$$\delta = \frac{A_{sl}}{A_p}$$

$$\alpha = \frac{a}{b} \geq 0,5$$

donde:

$I_{sl}$  Momento de inercia de la chapa rigidizada.

$I_p$  Inercia a flexión de la placa:

$$I_p = \frac{bt^3}{12(1 - \nu^2)} = \frac{bt^3}{10,92}$$

$A_{sl}$  Suma de la sección bruta de todos los rigidizadores longitudinales considerados individualmente.

$A_p$  Sección bruta de la placa:

$$A_p = b \cdot t$$

$\sigma_1$  Valor máximo de tensión en un extremo del panel.

$\sigma_2$  Valor mínimo de tensión en el otro extremo del panel.

$a, b$  y  $t$  Dimensiones que se definen en la figura A6.4.2.1.

#### **A6.4.2.2 Uno o dos rigidizadores en la zona comprimida. Concepto de columna equivalente sobre lecho elástico.**

Este procedimiento es de especial interés cuando el número y la disposición de los rigidizadores longitudinales provienen de una distribución de tensiones

longitudinales directas no uniforme, como ocurre en un panel de alma. Para estas situaciones se sugiere un procedimiento que tiene en cuenta la naturaleza discreta de la rigidización de una manera sencilla. La determinación de la tensión crítica de abolladura no puede basarse ahora en el concepto de chapa ortótropa sino que lo hará en el estudio de una columna descansando sobre lecho elástico, el cual refleja el efecto placa en la dirección perpendicular a la barra columna (ver figura A6.4.2.2.a). La tensión crítica elástica de pandeo de la columna equivalente puede tomarse como una aproximación al valor de la tensión  $\sigma_{cr,p}$ .

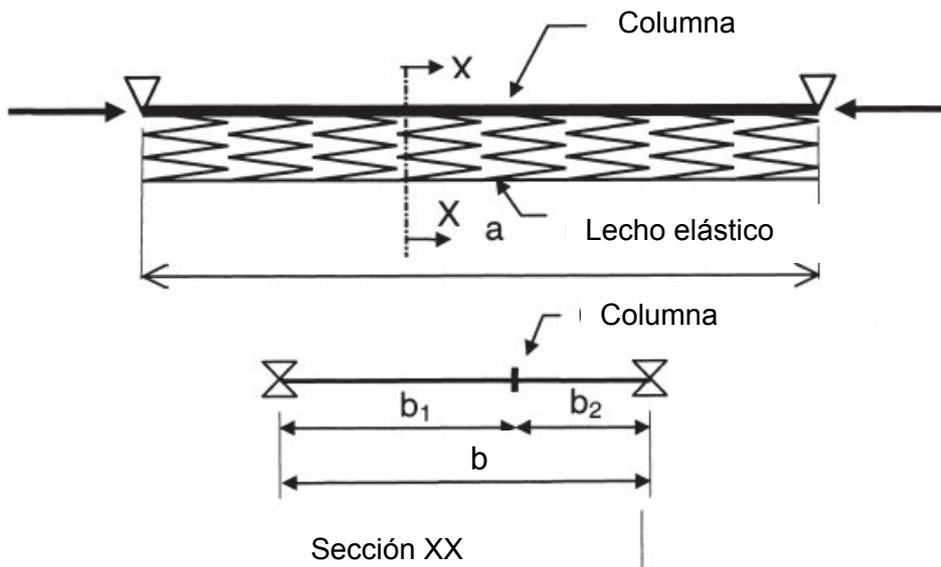


Figura A6.4.2.2.a. Modelo de columna sobre lecho elástico

Caso de un rigidizador:

Cuando la chapa rigidizada contenga un solo rigidizador en la zona comprimida, la localización de la columna equivalente coincide con la del rigidizador longitudinal. En aras de alcanzar una formulación simple, no se consideran los rigidizadores ubicados en la zona traccionada del elemento.

Para el cálculo de  $A_{sl,1}$  y  $I_{sl,1}$  la sección bruta de la columna debe tomarse igual a la sección bruta del rigidizador considerando los tramos adyacentes de la chapa del modo que se describe a continuación. En caso que el subpanel se encuentre totalmente en la zona comprimida, se tomará un porcentaje de  $(3-\Psi)/(5-\Psi)$  de su ancho  $b_1$  en el borde del panel con menor tensión y un porcentaje de  $2/(5-\Psi)$  para el borde con mayor tensión. En caso de producirse un cambio de signo en la distribución de tensiones (cambio de compresión a tracción) dentro del mismo subpanel, se tomará como parte de la columna un porcentaje del 0,4 del ancho  $b_c$  de la parte comprimida de este subpanel, tal como se muestra en la figura A6.4.2.2.b.

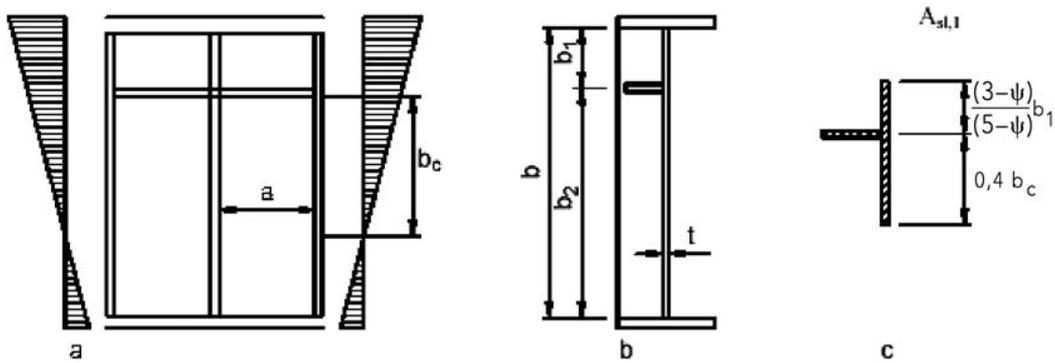


Figura A6.4.2.2.b. Notación para chapas rigidizadas con un único rigidizador en la zona comprimida

El área de la sección reducida de la columna  $A_{sl,1,ef}$  deberá tomarse como el área de la sección reducida del rigidizador y de las partes adyacentes de la chapa tal y como se muestra en la figura A6.4.2.1. La determinación del área de la sección reducida es necesaria para el cálculo de  $\beta_A$ . La esbeltez de los elementos de chapa en la columna puede determinarse de acuerdo con lo establecido en el apartado 20.7, tomando  $\sigma_{c,Ed}$  como la tensión máxima de compresión de cálculo para la sección bruta.

En ausencia de lecho elástico la longitud de pandeo de la columna equivalente sería igual a la distancia entre rigidizadores transversales  $a$ . Debido al efecto placa, la longitud de pandeo  $a_c$  de la columna equivalente será más pequeña que la distancia  $a$ .

De acuerdo con el modelo físico se obtiene que:

$$a_c = 4,33^4 \sqrt{\frac{I_{sl,1} b_1^2 b_2^2}{t^3 b}}$$

La tensión crítica elástica de pandeo de la columna equivalente puede determinarse mediante las siguientes expresiones:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{1,05 \cdot E \cdot \sqrt{I_{sl,1} t^3 b}}{A_{sl,1} b_1 b_2} \quad \text{si } a \geq a_c$$

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2} + \frac{Et^3 b a^2}{4\pi^2 (1 - \nu^2) A_{sl,1} b_1^2 b_2^2} \quad \text{si } a < a_c$$

donde:

$A_{sl,1}$  Sección bruta de la columna obtenida.

$I_{sl,1}$  Momento de inercia de la sección bruta de la columna alrededor de un eje que pasa por su centro de gravedad y que es paralelo al plano de la chapa.

$b_1, b_2$  Distancias de los bordes longitudinales al rigidizador  $b_1 + b_2 = b$  (ver figuras A6.4.2.2.a y A6.4.2.2.b).

Esta tensión puede ser tomada como una estimación de la tensión  $\sigma_{cr,p}$ .

Caso de dos rigidizadores:

Si la chapa rigidizada contiene dos rigidizadores longitudinales en la zona comprimida, se aplicará la metodología presentada anteriormente tres veces, del modo que se indica a continuación (ver figura A6.4.2.2.c). Primeramente, se asume que cada uno de los rigidizadores pandea mientras que el otro actúa como un soporte rígido.

Posteriormente debe comprobarse el pandeo simultáneo de ambos rigidizadores; para ello se contempla un único rigidizador que agrupa el efecto de ambos de la siguiente manera:

- El área y el momento de inercia del rigidizador agrupado son la suma de las áreas e y momentos de inercia de los rigidizadores considerados individualmente, calculadas éstos últimos como se ha expuesto anteriormente.
- El rigidizador agrupado se sitúa en la posición de la resultante de las fuerzas de cada uno de los rigidizadores individuales.

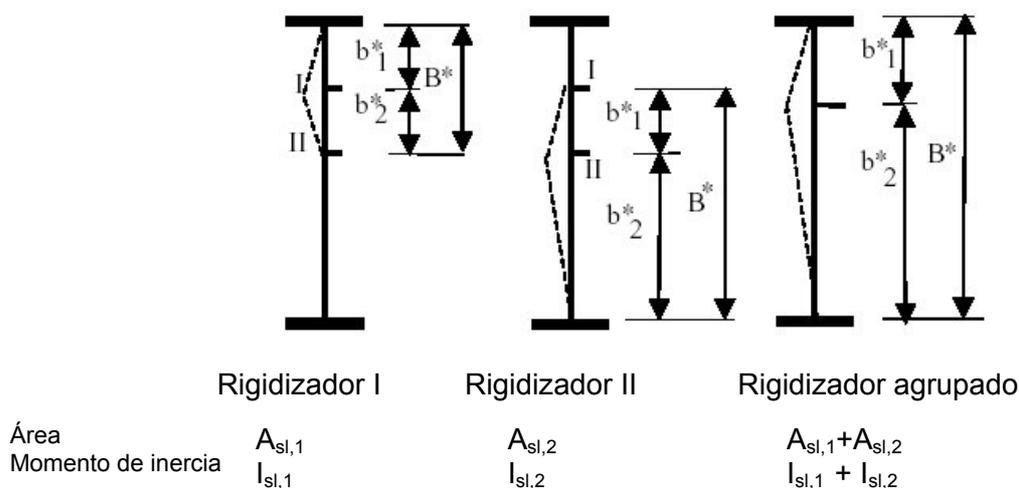


Figura A6.4.2.2.c. Procedimiento para el caso de dos rigidizadores en la zona comprimida.

Se considerarán las tres situaciones mostradas en la figura A6.4.2.2.c, tomando  $b_1=b_1^*$ ,  $b_2=b_2^*$  y  $b = B^*=b_1^*+ b_2^*$ .

Se estudiarán los tres casos y como estimación del valor de la tensión  $\sigma_{cr,p}$  se tomará el menor de los tres valores obtenidos de  $\sigma_{cr,sl}$ , obtenidos éstos con las expresiones presentadas en el apartado anterior, correspondiente al caso de un rigidizador.

### A6.4.3 Comportamiento tipo pandeo de columna

La tensión crítica elástica de pandeo  $\sigma_{cr,c}$  de una chapa no rigidizada (ver apartado A6.3) o rigidizada (ver apartado A6.4) se tomará igual a la tensión crítica de pandeo de la placa sin considerar los soportes a lo largo de los bordes longitudinales.

Para una chapa no rigidizada, la tensión crítica elástica de pandeo de columna  $\sigma_{cr,c}$  puede obtenerse a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E \cdot t^2}{12(1-\nu^2)a^2}$$

Para una chapa rigidizada, la tensión  $\sigma_{cr,c}$  puede determinarse a partir de la tensión crítica de pandeo de columna  $\sigma_{cr,sl}$  del rigidizador más cercano al borde del panel sometido a la mayor tensión de compresión, según la siguiente expresión:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2}$$

donde:

- $I_{sl,1}$  Inercia de la sección transversal bruta del rigidizador longitudinal y de las partes adyacentes de la chapa, según se establece en la figura A6.4.2.1, respecto al eje de flexión que ocasiona una deformación del rigidizador fuera del plano de la chapa.
- $A_{sl,1}$  Área bruta de la sección transversal del rigidizador y de las partes adyacentes de una placa, según se establece en la figura A6.4.2.1.

Dicha tensión  $\sigma_{cr,sl}$  ha sido obtenida considerando un estado de tensiones de compresión uniforme, que no existe influencia alguna de los soportes de los bordes extremos y que la longitud de pandeo es igual a la longitud del panel rigidizado.

Cuando la distribución de tensiones no sea uniforme, la tensión  $\sigma_{cr,c}$  puede obtenerse como  $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl} \frac{b_c}{b_{sl,1}}$ , donde  $\sigma_{cr,c}$  es la tensión relativa al borde comprimido de la chapa, y  $b_{sl,1}$  y  $b_c$  son valores geométricos obtenidos de la distribución de tensiones utilizada para la extrapolación (ver figura A6.4.2.1).

La esbeltez relativa de la columna  $\bar{\lambda}_c$  se define como sigue:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{para chapas no rigidizadas}$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{para chapas rigidizadas}$$

siendo:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,ef}}{A_{sl,1}}$$

$A_{sl,1}$  Se ha definido anteriormente.

$A_{sl,1,ef}$  Área de la sección reducida debido a la abolladura de placa (ver figura A6.4.2.1).

El coeficiente de reducción  $\chi_c$  se obtendrá de acuerdo con lo recogido en el apartado 35.1.2 del Capítulo IX. Para chapas no rigidizadas se tomará un valor del coeficiente de imperfección  $\alpha=0,21$ , que corresponde a la curva de pandeo a. En el caso de chapas rigidizadas el valor de  $\alpha$  deberá aumentarse para tener en cuenta la existencia de mayores imperfecciones iniciales en este tipo de elementos (soldadura de la rigidización). Se tomará un valor  $\alpha_e$  igual a:

$$\alpha_e = \alpha + \frac{0,09}{i/e}$$

siendo:

$\alpha=0,34$  (curva b) para rigidizadores de sección cerrada.  
 $\alpha=0,49$  (curva c) para rigidizadores de sección abierta.

$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}}$$

$e=\max(e_1, e_2)$  Mayor de las distancias existentes entre el centro de gravedad de la sección reducida del rigidizador y de la parte correspondiente de placa colaborante (centro de gravedad de la columna) y el centro de gravedad de la placa o el centro de gravedad de la sección bruta del rigidizador exclusivamente (o del conjunto de rigidizadores exclusivamente, si hay rigidización a ambos lados de la chapa) (ver figura A6.4.2.1).

#### **A6.4.4 Interpolación entre comportamiento de placa y de pandeo de columna**

El coeficiente final de reducción global  $\rho_c$  se obtendrá por interpolación entre los coeficientes  $\rho$  (apartado A6.4.2) y  $\chi_c$  (apartado A6.4.3) mediante la siguiente expresión:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c)\xi(2 - \xi) + \chi_c$$

siendo:

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad \text{donde: } 0 \leq \xi \leq 1$$

$\sigma_{cr,p}$  Tensión crítica de abolladura de placa (apartado A6.4.2).

$\sigma_{cr,c}$  Tensión crítica de pandeo de columna de acuerdo con lo establecido anteriormente (apartado A6.4.3).

$\rho$  Coeficiente de reducción por abolladura de la placa ortótropa equivalente (apartado A6.4.2).

$\chi_c$  Coeficiente de reducción por pandeo de columna (apartado A6.4.3).

Conocido  $\rho_c$  puede determinarse el área de la sección reducida de la zona comprimida del panel rigidizado  $A_{c,ef}$  (ver apartado A6.4.1), y por consiguiente se está en condiciones de conocer el área de la sección reducida de un elemento estructural genérico y su módulo resistente.

## A6.5 Comprobación

La comprobación del elemento estructural sometido a tensiones directas longitudinales producidas por esfuerzo axil de compresión y flexión uniaxial se llevará a cabo mediante la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{ef}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{\gamma_{M0} f_y W_{ef}} \leq 1,0$$

siendo:

$A_{ef}$  Área de la sección reducida eficaz obtenida bajo la actuación de un esfuerzo axil de compresión.

$e_N$  Excentricidad de la posición del eje neutro de la sección reducida eficaz respecto del eje neutro de la sección bruta bajo la actuación de un esfuerzo axil de compresión.

$M_{Ed}$  Momento flector de cálculo.

$N_{Ed}$  Esfuerzo axil de cálculo.

$W_{ef}$  Módulo resistente elástico de la sección reducida eficaz obtenido bajo la actuación de un momento flector.

$\gamma_{M0}$  Coeficiente parcial para la resistencia.

En el caso de que el elemento esté sometido a esfuerzo axil de compresión y a flexión biaxial, la expresión anterior queda de la siguiente manera:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} f_y A_{ef}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{y,N}}{\gamma_{M0} f_y W_{y,ef}} + \frac{M_{x,Ed} + N_{Ed} e_{z,N}}{\gamma_{M0} f_y W_{z,ef}} \leq 1,0$$

La comprobación para la abolladura de chapa se llevará a cabo para las resultantes de las tensiones existentes a una distancia  $0,4a$  o  $0,5b$ , la más pequeña de las dos, a partir del panel extremo en donde las tensiones sean las mayores. En este caso, deberá realizarse la comprobación de la resistencia de la sección bruta en el extremo final del panel.

#### **A6.6 Diagramas axil-deformación longitudinal ( $N-\varepsilon_{ap}$ ) ‘aparentes’ para chapas comprimidas rigidizadas**

Salvo en secciones de pequeñas dimensiones, las chapas de acero comprimidas se utilizan generalmente dotadas de rigidizadores (longitudinales y transversales). Tal es el caso de secciones cajón solicitadas a flexión negativa.

En la mayoría de los casos, a consecuencia de los fenómenos de segundo orden, no puede suponerse que dichos elementos permanezcan indeformables transversalmente, en las fases elásticas y elastoplásticas del dominio postcrítico, hasta valores de las deformaciones análogos a los que se consideran en los cálculos elastoplásticos en agotamiento de las secciones (ver 19.5.1).

La respuesta de las chapas comprimidas rigidizadas, solicitadas por esfuerzos axiales monótonamente crecientes en su plano, adopta una forma progresivamente no lineal con un comportamiento relativamente frágil una vez alcanzada la carga de inestabilidad, caracterizado por una bajada significativamente brusca de la rama descendente de su curva resistencia-deformación.

El análisis de estos elementos puede abordarse mediante modelos de elementos finitos no lineales del conjunto de la chapa de fondo y el entramado de rigidizadores longitudinales y transversales, con las oportunas vinculaciones laterales de esta subestructura al resto de la sección (almas y alas comprimidas). El modelo de elementos finitos deberá integrar la consideración de las imperfecciones geométricas equivalentes, asociadas a las formas de los modos críticos de inestabilidad del conjunto de la chapa rigidizada, así como de sus componentes (paneles de chapa entre rigidizadores), representativos de la influencia en la respuesta no lineal de las imperfecciones geométricas de ejecución y de los efectos de las tensiones residuales.

# Anejo 7: Rigidización. Detalles

## A7.1 Generalidades

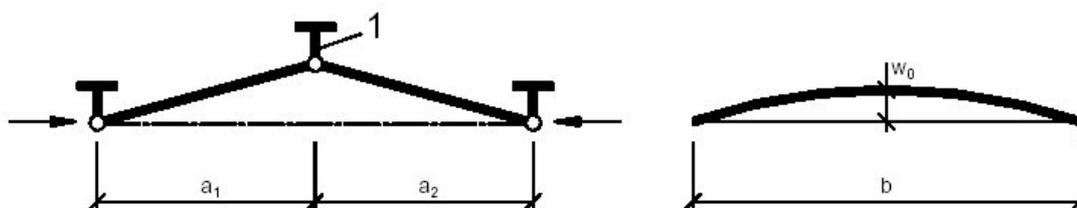
En este Anejo se dan criterios de dimensionamiento y comprobación de elementos rigidizados sometidos a tensiones longitudinales, como complemento a los criterios ya dados para la abolladura y para cargas concentradas (apartados 35.4, 35.5, 35.6 y 35.7). Asimismo se ofrecen criterios de proyecto adicionales a los que se recogen en el apartado 35.9 y en el Anejo nº 6, relativo a la comprobación de chapas rigidizadas longitudinalmente sometidas a tensiones longitudinales.

## A7.2 Tensiones longitudinales

### A7.2.1 Requisitos mínimos para los rigidizadores transversales

Con el fin de proporcionar un soporte rígido para una chapa con o sin rigidizadores longitudinales, los rigidizadores transversales intermedios deberán satisfacer una serie de requerimientos mínimos que se describen en este apartado.

El rigidizador transversal se modelará como un elemento simplemente apoyado con una imperfección inicial sinusoidal  $w_0$  de valor  $s/300$ , siendo  $s$  la menor de las dimensiones  $a_1$ ,  $a_2$  o  $b$  (ver figura A7.2.1), donde  $a_1$  y  $a_2$  son las longitudes de los paneles adyacentes al rigidizador transversal que se esté considerando y  $b$  es la altura del rigidizador transversal entre los centros de gravedad de las alas o es la luz del propio rigidizador. Deberán tenerse en cuenta las excentricidades debidamente.



1. Rigidizador transversal

Figura A7.2.1. Rigidizador transversal.

El rigidizador transversal deberá soportar las fuerzas de desvío provenientes de los paneles comprimidos adyacentes bajo la hipótesis que los dos rigidizadores transversales adyacentes son rígidos y se mantienen rectos bajo la acción conjunta de cualquier carga externa y un esfuerzo axial, determinado éste según 35.9.3.3. Los paneles de chapa comprimidos así como los rigidizadores longitudinales se consideran simplemente apoyados en los rigidizadores transversales.

Llevando a cabo un análisis elástico en segundo orden, deberán satisfacerse los siguientes requisitos en estado límite último:

- La tensión máxima en el rigidizador no debe sobrepasar  $f_y/\gamma_{M1}$ .
- La flecha adicional no deberá ser superior a  $b/300$  (ver figura A7.2.1).

En ausencia de una fuerza axil en el rigidizador transversal, puede asumirse que ambos criterios son satisfechos siempre que la inercia del rigidizador transversal  $I_{st}$  no sea inferior a:

$$I_{st} = \frac{\sigma_m}{E} \left( \frac{b}{\pi} \right)^4 \left( 1 + w_0 \frac{300}{b} u \right)$$

donde:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \frac{N_{Ed}}{b} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

$$u = \frac{\pi^2 E e_{max}}{f_y 300 b} \geq 1,0$$

$\gamma_{M1}$

$e_{max}$  Máxima distancia de la fibra extrema del rigidizador al centro de gravedad de éste.

$N_{Ed}$  Máxima fuerza de compresión de los paneles adyacentes al rigidizador, no siendo menor que el producto de la tensión máxima de compresión por la mitad del área reducida de compresión del panel, incluyendo los rigidizadores.

$\sigma_{cr,c}$ ,  $\sigma_{cr,p}$  Se definen en el Anejo 6.

Si el rigidizador transversal se ve sometido a un esfuerzo axil de compresión, éste deberá incrementarse en un valor  $\Delta N_{st} = \sigma_m b^2 / \pi^2$  con el objetivo de tener en cuenta las fuerzas de desvío. Los requisitos presentados arriba siguen aplicando, pero no es necesario considerar  $\Delta N_{st}$  al calcular la distribución uniforme de tensiones en el rigidizador, ocasionada por el esfuerzo axil.

De manera simplificada, en ausencia de esfuerzo axil, la comprobación de los requisitos anteriores podrá llevarse a cabo mediante un análisis elástico de primer orden, considerando la actuación adicional de una carga lateral uniformemente repartida actuando en la longitud  $b$  del rigidizador y de valor:

$$q = \frac{\pi}{4} \sigma_m (w_0 + w_{el})$$

donde:

$\sigma_m$  Se ha definido anteriormente dentro de este mismo apartado.

$w_0$  Se define en la figura A7.2.1.

$w_{el}$  Flecha elástica, que puede determinarse mediante un proceso iterativo o bien tomarse igual al máximo valor de la flecha adicional citado anteriormente  $b/300$ .

A no ser que se lleve a cabo un análisis avanzado, con el fin de evitar el pandeo por torsión de los rigidizadores transversales de sección abierta, se deberá satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{I_t}{I_p} \geq 5,3 \frac{f_y}{E}$$

siendo:

$I_p$  Inercia polar del rigidizador, considerado aisladamente, alrededor del borde fijado a la chapa rigidizada.

$I_T$  Módulo de torsión uniforme del rigidizador considerado aislado.

Cuando se considere la rigidez de alabeo, los rigidizadores deberán satisfacer la anterior condición o bien el siguiente criterio:

$$\sigma_{cr} \geq \theta \cdot f_y$$

siendo:

$\sigma_{cr}$  Tensión crítica elástica para pandeo por torsión del rigidizador.

$\theta$  Parámetro para asegurar el comportamiento de sección clase 3. Se recomienda un valor de  $\theta$  igual a 6.

### **A7.2.2 Requisitos mínimos para los rigidizadores longitudinales**

Los requisitos relacionados con el pandeo por torsión planteados en el apartado A7.2.1 para los rigidizadores transversales son también aplicables a los rigidizadores longitudinales.

Aquellos rigidizadores longitudinales discontinuos que no atraviesan los rigidizadores transversales a través de aperturas hechas en éstos o que no están conectados a ambos lados del rigidizador transversal:

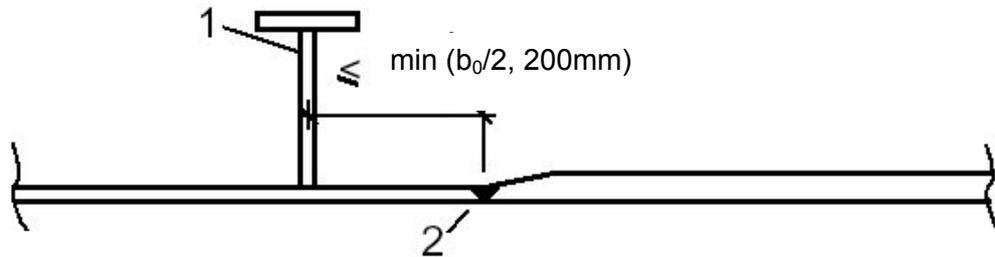
- Deberán ser utilizados sólo en paneles de alma (es decir, no se podrán disponer en alas).
- No deberán considerarse en el análisis global.
- No deberán considerarse en el cálculo de tensiones.
- Se considerarán en el cálculo de los anchos reducidos de subpaneles de alma.
- Se considerarán en el cálculo de las tensiones críticas.

La comprobación resistente de estos rigidizadores se llevará a cabo según lo establecido en el Anejo 6.

### **A7.2.3 Chapas soldadas**

Las chapas que presenten cambios en su espesor se soldarán en zonas cercanas a un rigidizador transversal, tal como se indica en la figura A7.2.3. Los efectos de la excentricidad no necesitan ser tenidos en cuenta, a no ser que la

distancia al rigidizador de la unión soldada sea superior al mínimo de los valores  $b_0/2$  y 200 mm, donde  $b_0$  es el ancho de chapa entre rigidizadores longitudinales.



1. Rigidizador transversal.
2. Soldadura transversal.

Figura A7.2.3. Chapas soldadas

#### A7.2.4 Agujeros en rigidizadores

Las dimensiones de los agujeros en los rigidizadores longitudinales deberán satisfacer las condiciones que se describen en la figura A7.2.4.a.

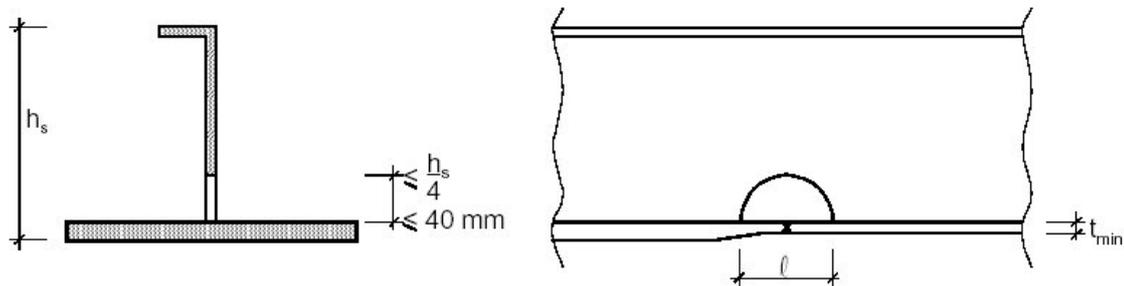


Figura A7.2.4.a. Agujeros en rigidizadores longitudinales

La longitud  $l$  (ver figura A7.2.4.a) deberá cumplir:

- $l \leq 6 \cdot t_{\min}$  para rigidizadores planos comprimidos.
- $l \leq 8 \cdot t_{\min}$  para cualquier otro tipo de rigidizadores en compresión.
- $l \leq 15 \cdot t_{\min}$  para rigidizadores no comprimidos.

donde  $t_{\min}$  es el menor de los espesores de las chapas a unir.

Los valores límite de  $l$  para rigidizadores en compresión pueden incrementarse con un factor  $\sqrt{\frac{\sigma_{x,Rd}}{\sigma_{x,Ed}}}$  cuando  $\sigma_{x,Ed} \leq \sigma_{x,Rd}$  y  $l \leq 15 \cdot t_{\min}$

En el caso de los rigidizadores transversales, los agujeros deberán satisfacer las condiciones que se presentan en la siguiente figura A7.2.4.b.

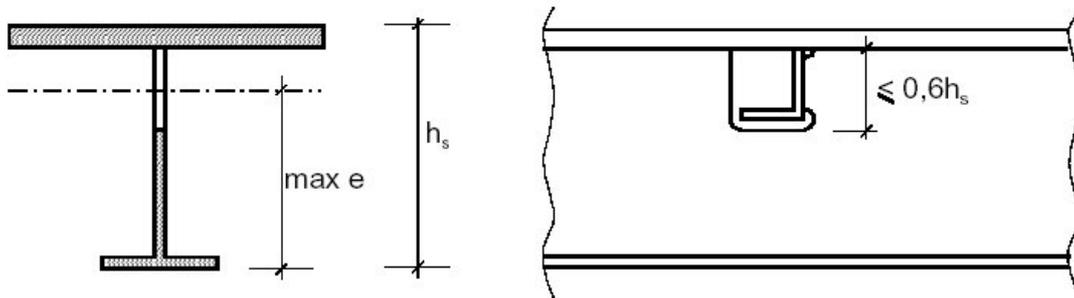


Figura A7.2.4.b. Agujeros en rigidizadores transversales

La sección bruta de alma adyacente al agujero deberá resistir un esfuerzo cortante de cálculo  $V_{Ed}$  de valor:

$$V_{Ed} = \frac{I_{net}}{\max e} \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} \frac{\pi}{b_G}$$

siendo:

- $I_{net}$  Momento de inercia de la sección neta del rigidizador transversal.
- $e$  Distancia máxima desde la cara inferior del ala al eje neutro de la sección neta (ver figura A7.2.4.b).
- $b_G$  Longitud del rigidizador transversal entre alas.

# Anejo 8: Acciones para el análisis térmico

## A8.1 Generalidades

El proceso completo de comprobación estructural en situación de incendio puede desarrollarse en cuatro etapas:

1. Selección de los escenarios de incendio oportunos para el cálculo, a partir de una estrategia global acorde con la normativa de seguridad contra incendios, para el edificio concreto objeto del proyecto.
2. Determinación de la acción de incendio de cálculo correspondiente; se define la acción de incendio de cálculo, o, abreviadamente, "fuego de cálculo" mediante la curva de incremento de temperatura de los gases del recinto de incendio en función del tiempo, que se adopta para caracterizar la acción del incendio. Al seleccionar el fuego de cálculo se puede optar por un modelo matemático apropiado de un incendio real o, por la curva normalizada tiempo-temperatura que representa el programa térmico de los hornos de ensayo.
3. Cálculo de la evolución de la temperatura en el interior de los elementos estructurales como consecuencia de su exposición al fuego de cálculo adoptado. Si se elige un modelo de fuego real, el cálculo debe abarcar toda la duración del incendio, con la fase de enfriamiento incluida. Si se opta por el fuego normalizado, en el que no hay fase de enfriamiento, el tiempo de exposición al fuego preceptivo  $t_{fi,requ}$  debe ser fijado siguiendo las especificaciones de la normativa en vigor.
4. Cálculo del comportamiento mecánico de la estructura expuesta al fuego.

En este Anejo se incluye información destinada a facilitar la ejecución de las dos primeras etapas antedichas, ya que los procedimientos para la realización de las dos últimas son materia específica del articulado de esta Instrucción y se desarrollan en su Capítulo XII.

Los fuegos de cálculo contenidos en este Anejo corresponden a un "sector de incendio" determinado, definido como un recinto separado de otros que pudieran coexistir en el mismo volumen de edificación, por elementos compartimentadores del grado y superficie útil que en cada caso establezca el Código Técnico de la Edificación y, si fueran de aplicación, los Reglamentos de las Administraciones Autonómicas, Ordenanzas municipales, etc., pertinentes. Salvo que se estipule lo contrario, se asignará un fuego de cálculo para cada escenario que se considerará afectando a un único sector de incendio del edificio cada vez.

Por curva normalizada tiempos-temperaturas o, abreviadamente, "fuego normalizado" se entiende el ensayo definido por UNE-EN 1363, caracterizado por la variación de temperatura con el tiempo dada en A8.3.1.

## A8.2 Comprobación de la estabilidad estructural en situación de incendio

### **A8.2.1 Resistencia al fuego exigible a la estructura**

Para la adopción de la magnitud  $t_{fi,nom}$  posteriormente indicada deberá respetarse lo establecido en las reglamentaciones que sean de aplicación en el ámbito de sus competencias.

Si estos reglamentos no disponen lo contrario, el tiempo de resistencia ante el fuego normalizado exigible a la estructura  $t_{fi,requ}$  podrá elegirse indistintamente por los dos procedimientos que en esta Instrucción se concretan y se complementan en los términos siguientes:

- a) Acción nominal de incendio. Convencionalmente se define por la duración, expresada en minutos de fuego normalizado, denominada  $t_{fi,nom}$  en esta Instrucción, cuyos valores deberán tomarse de las tablas incluidas en la Sección SI 6 del CTE, en el RSCIEI, o, en su caso, en los restantes reglamentos mencionados en el párrafo anterior.
- b) Acción equivalente de incendio. En este caso se especifica un criterio analítico concreto para la determinación del tiempo equivalente de exposición al fuego. Este criterio se desarrolla en A8.5, donde se define y cuantifica el correspondiente valor representativo de la acción de incendio ( $t_{e,d}$ ).

Con  $t_{fi,requ} = t_{fi,nom}$ , o bien  $t_{fi,requ} = \text{mínimo}(t_{fi,nom}, t_{e,d})$  cuando el párrafo b) sea de aplicación según lo ya expresado, se puede proceder a la comprobación de la seguridad de la estructura de acero ante el incendio, según los procedimientos admitidos por esta Instrucción.

También vienen recogidos en este Anejo criterios teórico-experimentales para la fijación de la resistencia al fuego exigible para las estructuras que, al igual que los restantes criterios expuestos explícitamente en esta Instrucción, corresponde al Autor del Proyecto la elección de unos u otros.

### **A8.2.2 Acciones térmicas. Flujo neto de calor**

Las acciones térmicas sobre la superficie de los elementos estructurales se definen por el flujo neto de calor  $\dot{h}_{net}$  [ $W/m^2$ ] que incide sobre la unidad de superficie expuesta al fuego de dichos elementos.

Debe determinarse considerando la transmisión de calor por convección y por radiación:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [W/m^2] \quad (A8.2.1)$$

donde:

$\dot{h}_{net,c}$  Componente de convección del flujo térmico por unidad de superficie:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \quad [W/m^2] \quad (A8.2.2)$$

$\dot{h}_{net,r}$  Componente de radiación del flujo neto de calor por unidad de superficie:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \quad [W/m^2] \quad (A8.2.3)$$

siendo:

- $\alpha_c$  Coeficiente de transferencia de calor por convección [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ]. Los coeficientes  $\alpha_c$  aplicables a las curvas nominales tiempo-temperatura se indican en A8.3 y para modelos de fuego natural en A8.6 y A8.7.
- $\Theta_g$  Temperatura del gas en la proximidad del elemento expuesto al fuego [ $^{\circ}\text{C}$ ], definida por el fuego de cálculo elegido.
- $\Theta_m$  Temperatura de la superficie del elemento [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Se obtiene como resultado del análisis térmico del elemento conforme al Capítulo XII relativo al cálculo estructural en situación de incendio.
- $\Phi$  Factor de forma; si se carece de datos específicos debe adoptarse  $\Phi = 1,0$ . Para tener en cuenta los efectos de posición y de sombra puede adoptarse un valor menor.
- $\varepsilon_m$  Emisividad de la superficie del elemento, se adoptará  $\varepsilon_m = 0,7$ .
- $\varepsilon_f$  Emisividad del fuego; generalmente se adopta  $\varepsilon_f = 1,0$ .
- $\sigma$  Constante de Stephan Boltzmann ( $= 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4]$ ).
- $\Theta_r$  Temperatura efectiva de radiación del fuego [ $^{\circ}\text{C}$ ]. En el caso de elementos totalmente rodeados por el fuego,  $\Theta_r$  puede asimilarse a la temperatura del gas  $\Theta_g$  alrededor del elemento.

En la cara no expuesta de los elementos separadores, el flujo neto de calor  $\dot{h}_{\text{net}}$  debe determinarse utilizando la ecuación (A8.2.1) siendo  $\alpha_c = 4 [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$ .

Como coeficiente de transferencia de calor por convección debe adoptarse  $\alpha_c = 9 [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$  cuando se suponga que incluye los efectos de transferencia de calor por radiación.

### **A8.2.3 Temperatura de los gases en el sector de incendio. “Fuegos de cálculo”**

Las temperaturas de los gases del sector de incendio  $\Theta_g$  pueden adoptarse en forma de curvas nominales tiempo-temperatura conforme a A8.3, o según los modelos de fuego natural indicados en A8.6 y A8.7.

Entre las curvas nominales tiempo-temperatura, además de la curva normalizada UNE-EN 1363, se puede utilizar la curva de fuego exterior para caracterizar los incendios menos severos producidos en zonas exteriores adyacentes al edificio, o para medir los efectos sobre elementos exteriores de las llamas saliendo por las ventanas. Se incluye así mismo una curva específica para caracterizar un incendio en una balsa conteniendo hidrocarburos.

Los modelos de fuego real o natural son modelos que, con mayor o menor complejidad, incorporan diversos parámetros físicos presentes en el desarrollo de un incendio real; los modelos de fuego simplificados se fundamentan en parámetros físicos específicos con un campo de aplicación limitado. Los modelos avanzados de fuego deben tener en cuenta las propiedades del gas y el intercambio de masa y de energía

## **A8.3 Curvas nominales tiempo-temperatura**

### **A8.3.1 Curva normalizada tiempo-temperatura**

La curva normalizada tiempo-temperatura está definida por:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{A8.3.1})$$

donde:

$\Theta_g$	Temperatura del gas en el sector de incendio	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t$	Tiempo transcurrido	[min]

El coeficiente de transferencia de calor por convección es:  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

### **A8.3.2 Curva de fuego exterior**

La curva de fuego exterior está definida por:

$$\Theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32 t} - 0,313 e^{-3,8 t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{A8.3.2})$$

donde:

$\Theta_g$	Temperatura del gas en la proximidad del elemento	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t$	Tiempo transcurrido	[min]

El coeficiente de transferencia de calor por convección es:  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

### **A8.3.3 Curva de hidrocarburos**

La curva tiempo-temperatura de hidrocarburos está definida por:

$$\Theta_g = 1.080 (1 - 0,325 e^{-0,167 t} - 0,675 e^{-2,5 t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{A8.3.3})$$

donde:

$\Theta_g$	Temperatura del gas en el sector de incendio	[ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t$	Tiempo transcurrido	[min]

El coeficiente de transferencia de calor por convección es:  $\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

## **A8.4 Carga de fuego**

La "carga de fuego" deberá abarcar todo el contenido combustible del edificio y todos los elementos constructivos combustibles, incluidos los revestimientos y los acabados.

La determinación de las cargas de fuego se puede realizar:

- a) A partir de una clasificación nacional de cargas de fuego según el tipo de actividad.

En este caso se distinguen y deben sumarse:

- Las cargas de fuego propias de la actividad, dadas en la clasificación;
  - las cargas de fuego debidas al edificio (elementos constructivos, revestimientos y acabados) que normalmente no están incluidos en la clasificación y que se determinan conforme a los párrafos siguientes que sean de aplicación.
- b) Mediante una evaluación individual: las cargas de fuego y su localización deberán evaluarse teniendo en cuenta el uso previsto, el mobiliario y las instalaciones, los cambios a lo largo del tiempo, las tendencias desfavorables y los posibles cambios de actividad que no impliquen normativamente la elaboración de un nuevo proyecto.

#### **A8.4.1 Densidad de carga de fuego. Valor de cálculo**

La densidad de carga de fuego utilizada en los diferentes escenarios de incendio debe ser un valor de cálculo basado en mediciones.

El valor de cálculo puede determinarse:

- A partir de una clasificación nacional de densidades de cargas de fuego de cálculo según el tipo de actividad;
- de manera simplificada a partir de la expresión (A8.4.1) de este epígrafe que tiene en cuenta la probabilidad de activación y las medidas de lucha contra incendios mediante coeficientes parciales de seguridad;
- de manera específica para un proyecto particular, efectuando un estudio de las cargas de fuego de cada sector, representándolas por su valor característico, teniendo en cuenta las condiciones de combustión. La probabilidad de activación, las medidas activas de lucha contra incendios, las condiciones de evacuación y de actuación de las brigadas de extinción, así como todas las medidas adicionales de seguridad y las posibles consecuencias del incendio se deben incluir mediante una estrategia general de seguridad.

El coeficiente  $\gamma_q$  dado en la tabla A8.5.c, que tiene en cuenta las consecuencias previsibles del incendio, puede introducirse directamente en el valor de la carga de fuego de cálculo determinada por cualquiera de las tres vías antedichas, cuando el procedimiento de comprobación emprendido lo utilice de forma explícita como en el tiempo equivalente de incendio normalizado, en las curvas paramétricas y en las curvas de incendios reales.

El valor de cálculo de la carga de fuego  $q_{f,d}$  se define por:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \text{ [MJ/m}^2\text{]} \quad (\text{A8.4.1})$$

donde:

$q_{f,k}$	Densidad de carga de fuego característica por unidad de superficie de suelo [MJ/m <sup>2</sup> ] (véase, A8.4.2).
$\delta_{q1}$	Coficiente que toma en consideración el riesgo de inicio del incendio debido al tamaño del sector (véase la tabla A8.4.1.a).
$\delta_{q2}$	Coficiente que toma en consideración el riesgo de inicio del incendio debido al tipo de actividad (véase la tabla A8.4.1.a).

$$\delta_n = \prod_{i=1}^3 \delta_{ni}$$

Coefficiente que toma en consideración las diferentes medidas activas de lucha contra incendios  $i$  (rociadores, detección, transmisión automática de alarma a bomberos). Estas medidas activas son generalmente implantadas por razones de protección de las personas (véase la tabla A8.4.2.b).

$m$  Coeficiente que toma en consideración las características de la combustión, representa la fracción de combustible que arde en el incendio, en función de la actividad y del tipo de carga de fuego. Para mezcla de materiales predominantemente celulósicos (madera, papel tejidos, pero no para almacenamiento de celulosa) el coeficiente de combustión puede suponerse  $m = 0,8$ . En otros casos de mezcla de materiales puede tomarse  $m=1$ . En situaciones de almacenamiento de un mismo material como madera, algodón, caucho, goma, linóleo, plásticos y fibras artificiales, a falta de otros datos puede tomarse el valor más desfavorable  $m=1,4$  (baja densidad de material sobre gran superficie).

Tabla A8.4.1.a. Coeficientes  $\delta_{q1}$ ,  $\delta_{q2}$

Superficie de suelo del sector $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Riesgo de inicio del incendio $\delta_{q1}$	Riesgo de inicio del incendio $\delta_{q2}$	Tipos de actividad
20	1,00	0,78	Galería de arte, museo, piscina
25	1,10	1,00	Vivienda, administrativo, residencial, docente
250	1,50	1,25	Comercial, garage, hospitalario, pública concurrencia
2.500	1,90	1,25	Sectores de riesgo especial bajo
5.000	2,00	1,40	Sectores de riesgo especial medio
>10.000	2,13	1,60	Sectores de riesgo especial alto

Tabla A8.4.1.b. Coeficientes  $\delta_{n,i}$

$\delta_{n,i}$ Función de las medidas activas de lucha contra incendios			
Extinción automática	Detección automática		
Sistema automático de extinción por agua	Detección y alarma automática	Transmisión automática de la alarma a los bomberos	
$\delta_{n,1}$	de calor $\delta_{n,2}$	de humo $\delta_{n,2}$	$\delta_{n,3}$
0,61	0,87		0,87

La aplicación de la tabla A8.4.1.b requiere la verificación de que:

- Se cumplen las exigencias de las normas europeas relativas a instalaciones de rociadores, detección y alarma.
- Todo sistema activo o pasivo de protección contra incendios tomado en consideración en el cálculo estará adecuadamente mantenido.

#### **A8.4.2 Densidad de carga de fuego característica**

La densidad de carga de fuego característica  $q_{f,k}$  por unidad de superficie se define como:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{A8.4.2})$$

donde:

$Q_{fi,k}$  Carga de fuego característica.

A Es, o bien la superficie de suelo ( $A_f$ ) del sector de incendio o del espacio de referencia, o bien la superficie interior total de la envolvente ( $A_t$ ), resultando  $q_{f,k}$  o  $q_{t,k}$  respectivamente.

La carga de fuego característica se define como:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i} \quad [\text{MJ}] \quad (\text{A8.4.3})$$

donde:

$M_{k,i}$  Cantidad de material combustible [kg].

$H_{ui}$  Potencial calorífico neto [MJ/kg].

$[\Psi_i]$  Coeficiente opcional que permite reducir las cargas de fuego adecuadamente protegidas de acuerdo con A8.5.3.

Para estimar la cantidad de material combustible hay que diferenciar:

- Las cargas de fuego permanentes, cuya variación no sea previsible durante la vida útil de una estructura, que deberán considerarse conforme a los valores obtenidos de un muestreo a posteriori, si éste es factible, o en su defecto se tomarán iguales a valores nominales basados en los elementos constructivos del proyecto.
- Las cargas de fuego variables, susceptibles de cambiar durante la vida útil de la estructura, para las que deberán adoptarse estimadores estadísticos de los valores que durante el 80% del tiempo no serán superados.

#### **A8.4.3 Cargas de fuego protegidas**

No es necesario considerar las cargas de fuego situadas dentro de contenedores diseñados para resistir la exposición al fuego.

Las cargas de fuego situadas en contenedores no combustibles y no concebidos específicamente para resistir la exposición al fuego, pero que se mantengan intactos durante ella, pueden tomarse en consideración del siguiente modo:

- A la carga de fuego mayor o al menos al 10% de todas las cargas de fuego protegidas, se les aplica un coeficiente  $\Psi_i = 1,0$ .
- Si esta carga de fuego más las cargas de fuego no protegidas no son suficientes para calentar las restantes cargas de fuego por encima de sus temperaturas de ignición, a las restantes cargas de fuego protegidas se les puede aplicar un coeficiente  $\Psi_i = 0$ .

- En otros casos, el valor del coeficiente  $\psi_i$  debe determinarse individualmente.

#### **A8.4.4 Potenciales caloríficos netos**

Los potenciales caloríficos netos de los materiales deberán determinarse conforme a EN ISO 1716:2002.

La humedad contenida en los materiales puede tomarse en consideración de la siguiente forma:

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [\text{MJ/kg}] \quad (\text{A8.4.4})$$

donde:

$u$  Humedad, en porcentaje del peso en estado seco.

$H_{u0}$  Potencial calorífico neto del material seco.

En la tabla A8.4.4 se incluye el potencial calorífico neto de algunos sólidos, líquidos y gases.

Tabla A8.4.4 – Potencial calorífico neto  $H_u$  [MJ/kg] de materiales combustibles para calcular cargas de fuego

<b>Sólidos</b>	
Madera	17,5
Otros materiales celulósicos	20
* Tejido	
* Corcho	
* Algodón	
* Papel, cartón	
* Seda	
* Paja	
* Lana	
Carbón	30
* Antracita	
* Carbón	
* Carbón de leña	
<b>Productos químicos</b>	
Serie de parafinas	50
* Metano	
* Etano	
* Propano	
* Butano	
Serie de olefinas	45
* Etileno	
* Propileno	
* Butano	
Serie de aromáticos	40
* Benceno	
* Tolueno	
Alcoholes	30
* Metanol	
* Etanol	
* Alcohol etílico	

Combustibles * Gasolina, petróleo * Diesel	45
Hidrocarburos plásticos * Polietileno * Poliestireno * Polipropileno	40
<b>Otros productos</b>	
ABS (plástico)	35
Poliéster (plástico)	30
Polisocianurato y poliuretano (plástico)	25
Policloruro de vinilo, PVC (plástico)	20
Betún, asfalto	40
Cuero	20
Linoleo	20
Neumático	30
NOTA: Los valores que figuran en esta tabla no son aplicables para calcular el contenido energético de los combustibles.	

#### **A8.4.5 Clasificación de las cargas de fuego según el tipo de actividad**

Las densidades de cargas de fuego variables para diversas edificaciones clasificadas según su actividad, conforme a la tabla A8.4.5, están referidas a la superficie del suelo de cada sector y deberán utilizarse como densidades de carga de fuego características  $q_{f,k}$  [MJ/m<sup>2</sup>].

Tabla A8.4.5 – Densidades de carga de fuego  $q_{f,k}$  [MJ/m<sup>2</sup>] para diferentes actividades

<b>Actividad</b>	<b>Fractil 80%</b>
Vivienda	650
Hospital (habitación)	280
Hotel (habitación)	280
Biblioteca	1.824
Oficina	520
Aula de escuela	350
Centro comercial	730
Teatro (cine)	365
Transporte (espacio público)	122
Garaje	280

Las cargas de fuego incluidas en la Tabla A8.4.5 son válidas para recintos normales en las actividades indicadas; zonas que no presenten acumulaciones de carga de fuego mayores que las propias del uso previsto en el que se considera una mezcla de materiales predominantemente celulósicos (relacionados con un coeficiente de combustión  $m=0,8$ ). Los recintos dedicados al resto de actividades no incluidas en la tabla como zonas especiales de almacenamiento, actividades industriales, etc. se consideran según A8.4.2.

Las cargas de fuego debidas al edificio (elementos constructivos, revestimientos y acabados) deberán determinarse según A8.4.2 y deberán añadirse a las densidades de carga de fuego de la tabla A8.4.5.

Por otra parte, en el RSCIEI se pueden encontrar valores medios de cargas de fuego para diversas actividades y usos comerciales y de almacén. Multiplicando dichos valores medios por 1,6 se puede obtener el valor característico de la carga de fuego  $q_{f,k}$  para incluir en los cálculos referidos en este Anejo.

#### A8.4.6 Curvas de variación de la velocidad de liberación de calor en un incendio

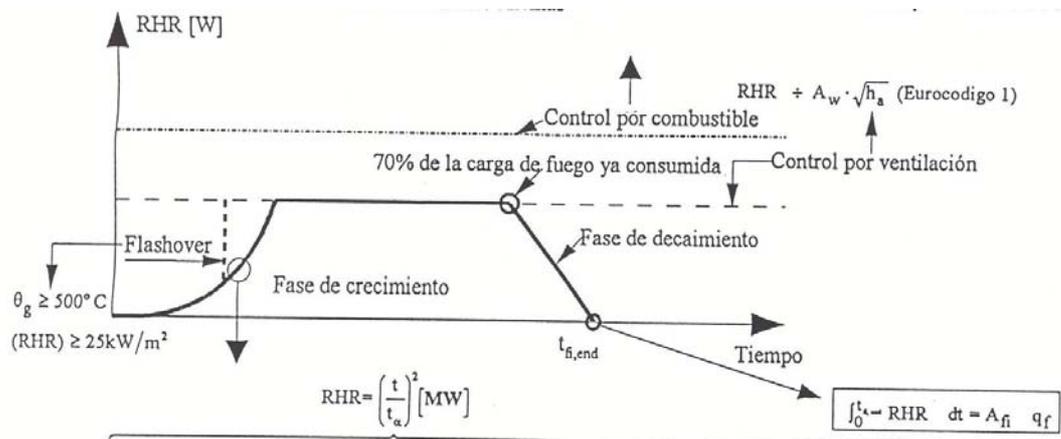


Figura A8.4.6. Curva de variación de generación de calor. En abscisas se representa el tiempo  $t$  en segundos y en ordenadas la velocidad de liberación de calor  $Q$  (también llamado RHR) en W (J/s)

En la curva de la figura, que representa la variación de la velocidad de generación de calor en un incendio en función del tiempo transcurrido, se distinguen tres fases: de crecimiento, estacionaria y de enfriamiento.

La velocidad de liberación de calor ( $Q$  en W) en la fase de crecimiento puede definirse por la expresión:

$$Q = 10^6 \left( \frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (A8.4.6)$$

donde:

$t$  Tiempo transcurrido en [s].

$t_\alpha$  Se considera constante para cada caso y representa el tiempo necesario para alcanzar una velocidad de liberación de calor de 1 MW. Su valor para incendios en sectores dedicados a diferentes actividades se indica en la tabla A8.4.6.

La curva de la fase de crecimiento del fuego está limitada por una línea horizontal que corresponde al estado estacionario con un valor máximo de  $Q$  dado por:

$$Q_{\max} = RHR_f A_{fi}$$

donde:

$A_{fi}$  Superficie del sector de incendio [ $m^2$ ] si la carga de fuego está uniformemente distribuida, aunque puede ser menor en caso de fuego localizado.

$RHR_f$  Máxima velocidad de generación de calor producido en  $1 m^2$  de fuego, en caso de fuego controlado por el combustible [ $kW/m^2$ ] (véase la tabla A8.4.6).

La línea horizontal, representativa del estado estacionario, está limitada por la fase de enfriamiento. Se puede suponer que esta última constituye un decrecimiento lineal que comienza cuando el 70% de la carga de fuego se ha consumido y que se completa cuando la misma se ha consumido totalmente.

Si el fuego está controlado por la ventilación, el nivel de la línea horizontal del estado estacionario debe reducirse en función de la cantidad de oxígeno disponible, ya sea utilizando un programa informático basado en un modelo de una zona, o bien utilizando la expresión aproximada siguiente:

$$Q_{\max} = 0,10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{eq}} \quad [\text{MW}] \quad (\text{A8.4.7})$$

donde:

$A_v$  Superficie de las aberturas [ $\text{m}^2$ ].

$h_{eq}$  Altura media de las aberturas [m].

$H_u$  Potencial calorífico neto de la madera, igual a 17,5 MJ/kg.

$m$  Coeficiente de combustión, tomado igual a 0,8.

Cuando se reduce el valor máximo de velocidad de generación de calor de acuerdo con la formulación anterior, correspondiente al caso de fuego controlado por la ventilación, la fase del estado estacionario debe prolongarse para que se corresponda con la energía disponible, dada por la carga de fuego.

Tabla A8.4.6 – Rapidez de desarrollo del fuego y  $RHR_f$  para diferentes actividades

Máxima velocidad de generación de calor $RHR_f$			
Actividad	Rapidez de desarrollo del fuego	$t_\alpha$ [s]	$RHR_f$ [ $\text{kW}/\text{m}^2$ ]
Vivienda	Medio	300	250
Hospital (habitación)	Medio	300	250
Hotel (habitación)	Medio	300	250
Biblioteca	Rápido	150	500
Oficina	Medio	300	250
Aula de escuela	Medio	300	250
Centro comercial	Rápido	150	250
Teatro (cine)	Rápido	150	500
Transporte (espacio público)	Lento	600	250

Los valores del coeficiente de rapidez de desarrollo del fuego y de  $RHR_f$  indicados en la tabla A8.4.6 son válidos cuando el coeficiente  $\delta_{q2}$  sea igual a 1,0 (véase la tabla A8.4.1.a).

Para un fuego de propagación ultrarrápida, a  $t_\alpha$  le corresponde el valor 75 s.

## A8.5 Tiempo equivalente de exposición al fuego

La formulación dada en este epígrafe depende del material estructural. No es aplicable a estructuras mixtas de acero y hormigón, ni a estructuras de madera. Puede

utilizarse cuando el cálculo de los elementos se fundamenta en la exposición al fuego normalizado.

El tiempo equivalente de exposición al fuego normalizado se define por:

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad [\text{min}] \quad (\text{A8.5.1})$$

donde:

$q_{f,d}$  Densidad de carga de fuego de cálculo según A8.4 [MJ/m<sup>2</sup>].

$k_b$  Factor de conversión relacionado con las propiedades térmicas de los materiales que forman el contorno del recinto de incendio.

$w_f$  Coeficiente de ventilación luego definido (adimensional).

$k_c$  Factor de corrección función del material que constituye la estructura, según la tabla A8.5.a.

Tabla A8.5.a – Factor de corrección  $k_c$  correspondiente a diferentes materiales estructurales. (O es el coeficiente de aberturas definido en A8.6.1).

Material de la sección	Factor de corrección $k_c$
Hormigón armado	1,0
Acero protegido	1,0
Acero no protegido	13,7 · O

Cuando no se realice una evaluación detallada de las propiedades térmicas del contorno, el factor de conversión  $k_b$  puede tomarse:

$$k_b = 0,07 \quad [\text{min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}] \quad (\text{A8.5.2})$$

Con mayor precisión  $k_b$  se puede fijar en función de las propiedades térmicas del contorno  $b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$  según la tabla A8.5.b.

Para determinar  $b$  y en caso de materiales dispuestos en varias capas o para paredes, suelos o techos compuestos por diferentes materiales, véase la tabla A8.5.b.

Tabla A8.5.b. Factor de conversión  $k_b$  función de las propiedades térmicas del contorno

$b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$ [J/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> K]	$k_b$ [min · m <sup>2</sup> /MJ]
$b > 2.500$	0,04
$720 \leq b \leq 2.500$	0,055
$b < 720$	0,07

El coeficiente de ventilación puede calcularse como:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} [0,62 + 90 (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)] \geq 0,5 \quad (\text{A8.5.3})$$

donde:

$\alpha_v = A_v/A_f$  Relación entre la superficie de las aberturas verticales de la fachada ( $A_v$ ) y la superficie de suelo del sector de incendio ( $A_f$ ), debiendo observarse los límites  $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$ .

$\alpha_h = A_h/A_f$  Relación entre la superficie de las aberturas horizontales de la cubierta ( $A_h$ ) y la superficie de suelo del sector de incendio ( $A_f$ ).

$b_v = 12,5 ( 1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2 ) \geq 10,0$

$H$  Altura del sector de incendio [m].

Para sectores de incendio pequeños ( $A_f < 100 \text{ m}^2$ ) sin aberturas en la cubierta, el factor  $w_f$  puede también calcularse como:

$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t$  donde:

$O$  Coeficiente de aberturas conforme a A8.6.1.

El tiempo de incendio normalizado a adoptar en los procedimientos de comprobación "simplificados" del Capítulo XII de esta Instrucción es:

$t = t_{fi,requ} = t_{fi,nom}$ , o bien  $t_{fi,requ} = \text{mínimo} (t_{fi,nom}, \gamma_q t_{e,d})$  cuando el párrafo b) de A8.2.1 sea de aplicación, siendo:

$\gamma_q$  Coeficiente parcial de seguridad que tiene en cuenta las consecuencias previsibles del incendio, según la tabla A8.5.c que, si no se ha incluido en el valor de cálculo de la densidad de carga de fuego obtenida según (A8.4.1) debe introducirse en este punto.

Las dos formulaciones de comprobación de la seguridad ante el incendio normalizado expuestas en el Artículo 46º de esta Instrucción (comprobación directa de solicitaciones o comprobación en el dominio de las temperaturas, bajo las condiciones allí expresadas) admiten obviamente una tercera formulación alternativa (comprobación de tiempos equivalentes de incendio), en la forma siguiente:

$t_{fi,requ} < t_{fi,d}$

donde:

$t_{fi,d}$  Valor de cálculo de la resistencia al fuego normalizado de los elementos, o duración del mismo para el cual se alcanza el estado límite resistente de los elementos estructurales,  $E_{fi,d}/R_{fi,d,t} = 1$ , conforme al Capítulo XII de esta instrucción relativas al cálculo en situación de incendio.

Tabla A8.5.c Valores de  $\gamma_q$  por las posibles consecuencias del incendio, según altura de evacuación del edificio.

Altura de evacuación	$\gamma_q$
Edificios con altura de evacuación descendente de más de 28m o ascendente de más de una planta	2,0
Edificios con altura de evacuación descendente entre 15 y 28m o ascendente de más de hasta 2,8 m. Garajes bajo otros usos	1,5
Edificios con altura de evacuación descendente de menos de 15 m	1,0

En el caso de edificios en los que no sea admisible que puedan quedar fuera de servicio o en los que pueda haber un número elevado de víctimas en caso de incendio, como en los hospitales, los valores indicados deben ser multiplicados por 1,5.

## A8.6 Modelos de fuego simplificados

Se distinguen dos tipos:

- a) "Fuegos de sector", para los que se supone alcanzada una distribución uniforme de la temperatura, en función del tiempo, en el sector de incendio. Las temperaturas del gas del recinto deben determinarse en función de parámetros físicos apropiados, considerando al menos la densidad de carga de fuego y las condiciones de ventilación. Para elementos interiores a los sectores, se aporta un método de cálculo de la temperatura del gas del recinto en A8.6.1.

Para los elementos exteriores, la componente de radiación del flujo de calor debe calcularse como la suma de las aportaciones del sector de incendio y de las llamas que salen por las aberturas.

- b) "Fuegos localizados", cuando sea improbable que se alcance la inflamación súbita generalizada (*flash-over*) de los materiales acumulados en el sector de incendio. En estos modelos de incendio, se supone una distribución no uniforme de temperaturas. En A8.6.2 se aporta un método de cálculo de las acciones térmicas de los fuegos localizados. En A8.4.6 se indica un método para el cálculo de la velocidad de liberación de calor  $Q$ .

Cuando se utilicen estos modelos de fuego simplificados, como coeficiente de transferencia de calor por convección se debe adoptar  $\alpha_c = 35$  [W/m<sup>2</sup> K].

### A8.6.1 Curvas paramétricas tiempo-temperatura

Las siguientes curvas tiempo-temperatura son válidas para sectores de incendio cuya superficie construida no exceda de 500 m<sup>2</sup>, sin aberturas en la cubierta y con una altura máxima de 4 m. Se supone la combustión completa de toda la carga de fuego.

Si al aplicar el procedimiento dado en este epígrafe se introduce el valor de cálculo de la densidad de carga de fuego  $q_{f,d}$  obtenida según (A8.4.1) y no se han tenido en cuenta entonces o por otros procedimientos las consecuencias del desplome del edificio, debe multiplicarse dicho valor por el coeficiente parcial de seguridad  $\gamma_q$  dado en la Tabla A8.5.c.

### Temperatura de los gases en el sector

Las curvas tiempo-temperatura de la fase de calentamiento se definen por:

$$\Theta_g = 20 + 1.325 (1 - 0,324 e^{-0,2 t^*} - 0,204 e^{-1,7 t^*} - 0,472 e^{-19 t^*}) \quad (\text{A8.6.1})$$

donde:

$$\Theta_g \quad \text{Temperatura de los gases en el sector de incendio} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\dot{t}^* = t \cdot \Gamma \quad [\text{h}] \quad (\text{A8.6.2})$$

con:

$$t \quad \text{Tiempo de incendio transcurrido} \quad [\text{h}]$$

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0,04 / 1.160)^2 \quad [-]$$

$$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$$

con los siguientes límites:  $100 \leq b \leq 2.200$   $[\text{J/m}^2 \text{s}^{1/2} \text{K}]$

$\rho$  Densidad de los elementos constructivos que conforman el contorno interior del sector de incendio  $[\text{kg/m}^3]$ .

$c$  Calor específico de los elementos de la envolvente del sector de incendio  $[\text{J/kg K}]$ .

$\lambda$  Conductividad térmica de los elementos del contorno del sector de incendio  $[\text{W/m K}]$ .

$$O \quad \text{Coeficiente de aberturas: } A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t \quad [\text{m}^{1/2}]$$

con los siguientes límites:  $0,02 \leq O \leq 0,20$

$A_v$  Superficie total de las aberturas verticales de todos los muros perimetrales del sector  $[\text{m}^2]$ .

$h_{eq}$  Media ponderada de altura de las aberturas de todos los muros  $[\text{m}]$ .

$A_t$  Superficie total del contorno (muros, techo y suelo, incluidas las aberturas)  $[\text{m}^2]$ .

Para calcular el coeficiente  $b$  pueden tomarse los valores a temperatura ambiente de la densidad  $\rho$ , del calor específico  $c$  y de la conductividad térmica  $\lambda$  de los elementos correspondientes.

En caso de  $\Gamma = 1$ , la ecuación (A8.6.1) se aproxima a la curva normalizada tiempo-temperatura.

Para un cerramiento con varias capas de materiales, el parámetro  $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$  debe introducirse de la siguiente forma:

$$\text{- si } b_1 < b_2, b = b_1 \quad (\text{A8.6.3})$$

- si  $b_1 > b_2$  se calcula un espesor límite  $s_{lim}$  para el material expuesto, conforme a:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \quad \text{con } t_{max} \text{ dado por la ecuación (A.6.6.7)} \quad [\text{m}] \quad (\text{A8.6.4})$$

$$\text{si } s_1 > s_{lim} \quad \text{entonces } b = b_1 \quad (\text{A8.6.4a})$$

$$\text{si } s_1 < s_{\text{lim}} \quad \text{entonces } b = \frac{s_1}{s_{\text{lim}}} b_1 + \left( 1 - \frac{s_1}{s_{\text{lim}}} \right) b_2 \quad (\text{A8.6.4b})$$

donde:

El índice 1 se asigna a la capa directamente expuesta al fuego, el índice 2 la capa siguiente, etc.

$s_i$  Espesor de la capa  $i$ .

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)}$$

$\rho_i$  Densidad de la misma capa.

$c_i$  Es su calor específico.

$\lambda_i$  Es su conductividad térmica.

El promedio de diferentes coeficientes  $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$  de las paredes, techos y suelos, debe efectuarse de la forma siguiente:

$$b = (\sum (b_j A_j)) / (A_t - A_v) \quad (\text{A8.6.5})$$

donde:

$A_j$  Superficie del elemento de cerramiento  $j$ , excluidas las aberturas.

$b_j$  Propiedad térmica del elemento  $j$  conforme a las ecuaciones (A8.6.3) y (A8.6.4).

### Tiempo necesario para que los gases alcancen la temperatura máxima

La temperatura máxima  $\Theta_{\text{max}}$  en la fase de calentamiento tiene lugar para  $t^* = t_{\text{max}}^*$  dado por:

$$t_{\text{max}}^* = t_{\text{max}} \cdot \Gamma \quad [\text{h}] \quad (\text{A8.6.6})$$

$$\text{con } t_{\text{max}} = \max [(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) ; t_{\text{lim}}] \quad [\text{h}] \quad (\text{A8.6.7})$$

donde:

$q_{t,d}$  Valor de cálculo de la densidad de carga de fuego referida a la superficie total  $A_t$  del contorno del sector  $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$  [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]. Se deben observar los siguientes límites:  $50 \leq q_{t,d} \leq 1.000$  [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ].

$q_{f,d}$  Valor de cálculo de la densidad de carga de fuego referida a la superficie del suelo del sector  $A_f$  [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ], multiplicada por el factor  $\gamma_q$  si se ha calculado con (A8.4.1).

$t_{\text{lim}}$  en [h]. Para fuegos de desarrollo lento,  $t_{\text{lim}} = 25$  min; para fuegos de desarrollo medio,  $t_{\text{lim}} = 20$  min y para fuegos de desarrollo rápido,  $t_{\text{lim}} = 15$  min; Para más detalles acerca de la rapidez de desarrollo del fuego, véase A8.4.6.

Si  $t_{\text{limax}}$  viene dado por  $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O)$  el fuego está controlado por la ventilación.

Cuando el fuego esté controlado por el combustible, el tiempo  $t_{\max}$  correspondiente a la temperatura máxima viene dado por  $t_{\max} = t_{\lim}$ , la variable  $t^*$  de la ecuación (A8.6.1) se sustituye por:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\lim} \quad [\text{h}] \quad (\text{A8.6.2b})$$

$$\text{con:} \quad \Gamma_{\lim} = [O_{\lim} / b]^2 / (0,04 / 1.160)^2 \quad (\text{A8.6.8})$$

$$\text{donde:} \quad O_{\lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} q_{t,d} / t_{\lim} \quad (\text{A8.6.9})$$

Si ( $O > 0,04$  y  $q_{t,d} < 75$  y  $b < 1.160$ ),  $\Gamma_{\lim}$  en (A8.6.8) tiene que multiplicarse por  $k$  dado por:

$$k = 1 + \left( \frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left( \frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left( \frac{1160 - b}{1160} \right) \quad (\text{A8.6.10})$$

### Fase de enfriamiento

Las curvas tiempo-temperatura en la fase de enfriamiento vienen dadas por:

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 625 (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{para } t_{\max}^* \leq 0,5 \quad (\text{A8.6.11a})$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 (3 - t_{\max}^* \cdot x) (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{para } 0,5 < t_{\max}^* < 2 \quad (\text{A8.6.11b})$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 (t^* - t_{\max}^* \cdot x) \quad \text{para } t_{\max}^* \geq 2 \quad (\text{A8.6.11c})$$

donde:  $t^*$  viene dado por (A8.6.2a).

$$t_{\max}^* = (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) \cdot \Gamma \quad (\text{A8.6.12})$$

$$x = 1,0 \quad \text{si } t_{\max} > t_{\lim}, \text{ o bien } x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t_{\max}^* \quad \text{si } t_{\max} = t_{\lim}$$

### A8.6.2 Fuegos localizados

La acción térmica de un fuego localizado sobre un elemento estructural debe calcularse mediante la expresión (A8.2.1), basándose en un factor de forma  $\Phi$  que tenga en cuenta los efectos de posición y de sombra este factor mide la fracción del calor total emitido por radiación por una superficie radiante que llega a una determinada superficie receptora. Cuando no se disponga de datos concretos para su cálculo se puede adoptar el valor 1 que es su límite superior.

El flujo de calor de un fuego localizado sobre elementos estructurales horizontales situados por encima del incendio, puede determinarse aplicando el método que se aporta en este epígrafe. Las reglas dadas son válidas si se cumplen las siguientes condiciones:

- El diámetro del fuego está limitado por  $D \leq 10$  m;
- la velocidad de liberación de calor del fuego está limitada por  $Q \leq 50$  MW.

Se establecen 2 casos diferentes en función de la altura relativa de las llamas respecto del techo:

- a) Las llamas no alcanzan el techo tal como se define en la Figura A8.6.1

b) La altura de las llamas ha alcanzado el techo según Figura A8.6.2.a.

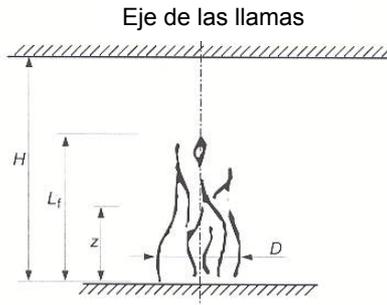


Figura A8.6.2.a.

La longitud de las llamas  $L_f$  de un fuego localizado viene dada por:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad [m] \quad (A8.6.13)$$

donde:

$D$  "Diámetro del fuego" [m] indicado en la figura A8.6.1.

$Q$  Velocidad de liberación de calor [W] del fuego conforme a A8.4.6.

$H$  Distancia [m] entre el foco de fuego y el techo.

Caso a) (véase la figura A8.6.2.a): Cuando las llamas no alcanzan el techo del sector de incendio ( $L_f < H$ ) o en caso de un fuego al aire libre, se calcula:

La temperatura  $\Theta_{(z)}$  del penacho a lo largo de su eje vertical de simetría que viene dada por:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \quad [^\circ C] \quad (A8.6.14)$$

donde:

$Q_c$  Componente de convección de la velocidad de liberación de calor [W] siendo por defecto  $Q_c = 0,8 Q$

$z$  Altura [m] medida sobre el eje de las llamas.

$z_0$  Origen virtual del eje que viene dado por:

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5} \quad [m] \quad (A8.6.15)$$

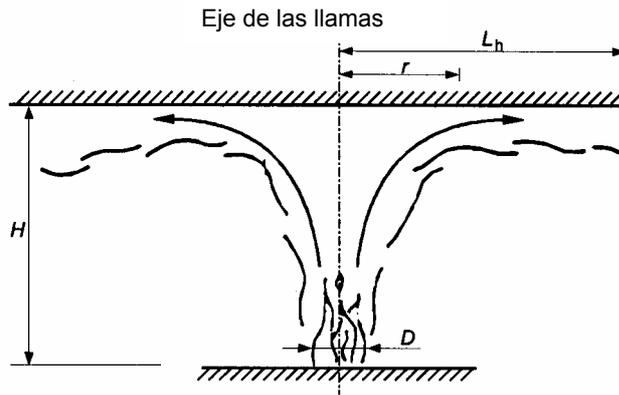


Figura A8.6.2.b.

Caso b) (véase la figura A8.6.2.b). Cuando las llamas alcanzan el techo ( $L_f \geq H$ ), se calcula:

El flujo de calor  $\dot{h}$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] recibido por radiación en la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo que viene dado por las tres expresiones en función del valor del parámetro  $y$ :

$$\begin{aligned} \dot{h} &= 100.000 && \text{si } y \leq 0,30 \\ \dot{h} &= 136.000 - 121.000 y && \text{si } 0,30 < y < 1,0 \\ \dot{h} &= 15.000 y^{-3,7} && \text{si } y \geq 1,0 \end{aligned} \quad (\text{A8.6.16})$$

$$\text{siendo: } y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} \quad [-]$$

donde:

$r$  Distancia horizontal [m] entre el eje vertical del fuego y el punto del techo para el que se calcula el flujo de calor.

$H$  Distancia [m] entre el foco del fuego y el techo.

$L_h$  Longitud horizontal de las llamas dada por la siguiente relación:

$$L_h = (2,9 H (Q_H^*)^{0,33}) - H \quad [\text{m}] \quad (\text{A8.6.17})$$

$Q_H^*$  Factor adimensional de liberación de calor, dado por:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) \quad [-] \quad (\text{A8.6.18})$$

$z'$  Posición vertical del foco virtual de calor [m] y viene dada por:

$$z' = 2,4 D (Q_D^{*2/5} - Q_D^{*2/3}) \text{ cuando } Q_D^* < 1,0 \quad (\text{A8.6.19})$$

$$z' = 2,4 D (1,0 - Q_D^{*2/5}) \text{ cuando } Q_D^* \geq 1,0$$

$$\text{siendo: } Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) \quad [-] \quad (\text{A8.6.20})$$

La acción térmica, representada por el flujo neto de calor  $\dot{h}_{\text{net}}$  recibido por la unidad de superficie del elemento expuesto al fuego a la altura del techo, viene dado por:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h} - \alpha \cdot (\Theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_m + 273)^4 - (293)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{A8.6.21})$$

donde los diversos coeficientes dependen de las expresiones (A8.2.2), (A8.2.3) y (A8.6.16).

Para obtener los diferentes flujos térmicos  $\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots$  recibidos por la unidad de superficie expuesta al fuego a la altura del techo en el caso de que existan varios fuegos localizados separados, puede utilizarse la expresión (A8.6.16). Para el flujo térmico total puede adoptarse:

$$\dot{h}_{\text{tot}} = \dot{h}_1 + \dot{h}_2 \dots \leq 100.000 \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{A8.6.22})$$

## A8.7 Modelos de fuego avanzados

Excepto cuando se disponga de información más detallada, se debe adoptar el coeficiente de transferencia de calor por convección  $\alpha_c = 35 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ .

### A8.7.1 Modelos de una zona

Se debe aplicar un modelo de una zona a las situaciones posteriores a la inflamación súbita generalizada (*flash-over*). La temperatura, la densidad, la energía interna y la presión del aire se suponen homogéneas en el sector de incendio considerado.

La temperatura puede calcularse teniendo en cuenta:

- La resolución de las ecuaciones de conservación de masa y energía;
- el intercambio de masa entre el gas interior, el aire exterior (a través de las aberturas) y el fuego (velocidad de pirólisis);
- el intercambio de energía entre el fuego, el gas interior, las paredes y las aberturas.

La ley de gases perfectos a considerar es la siguiente:

$$P_{\text{int}} = \rho_g R T_g \quad [\text{N/m}^2] \quad (\text{A8.7.1})$$

El balance de masa de los gases del sector se expresa como:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} + \dot{m}_{\text{fi}} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{A8.7.2})$$

donde:

$$\frac{dm}{dt} \quad \text{Pérdida de masa del gas en el sector en la unidad de tiempo.}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} \quad \text{Masa de gas que sale por las aberturas en la unidad de tiempo.}$$

$\dot{m}_{in}$  Masa de aire que entra por las aberturas en la unidad de tiempo.

$\dot{m}_{fi}$  Masa de los productos generados por la pirólisis en la unidad de tiempo.

La pérdida de masa del gas y la masa de productos generados por la pirólisis pueden despreciarse. Por tanto:

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad (\text{A8.7.3})$$

Estos flujos de masa pueden calcularse a partir de la presión estática debida a la diferencia de densidad del aire a temperatura ambiente y a alta temperatura.

El balance energético de los gases en el sector de incendio puede considerarse como:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{out} + Q_{in} - Q_{wall} - Q_{rad} \quad [\text{W}] \quad (\text{A8.7.4})$$

donde

$E_g$  Energía interna del gas. [J]

$Q$  Velocidad de liberación de calor del fuego. [W]

$$Q_{out} = \dot{m}_{out} c T_f$$

$$Q_{in} = \dot{m}_{in} c T_{amb}$$

$Q_{wall} = (A_t - A_{h,v}) h_{net}$ , pérdida de energía por las superficies del contorno.

$Q_{rad} = A_{h,v} \sigma T_f^4$ , pérdida de energía por radiación a través de las aberturas.

donde:

$c$  Calor específico [J/kgK]

$h_{net}$  Viene dado por la expresión (A8.2.1).

$\dot{m}$  Velocidad de variación de masa del gas [kg/s]

$T$  Temperatura [K]

### **A8.7.2 Modelos de dos zonas**

Un modelo de dos zonas se basa en la hipótesis de que los productos de combustión se acumulan en una capa bajo el techo, con una superficie de separación horizontal. Se definen diferentes zonas: la capa superior, la capa inferior, el fuego y su penacho, el aire exterior y las paredes.

En la capa superior, las características del gas se pueden suponer uniformes.

Los intercambios de masa, energía y sustancia química pueden calcularse entre las zonas citadas.

En un determinado sector con carga de fuego uniformemente distribuida, un modelo de dos zonas puede convertirse en uno de una zona en una de las situaciones siguientes:

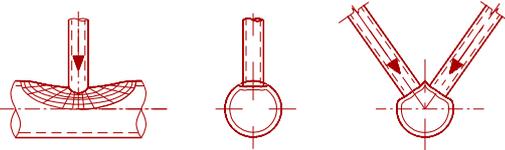
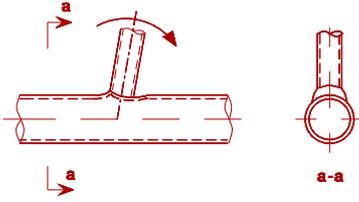
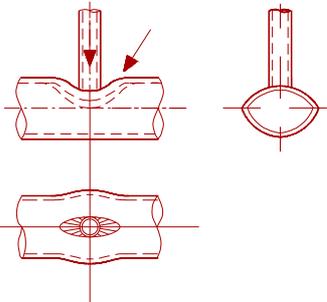
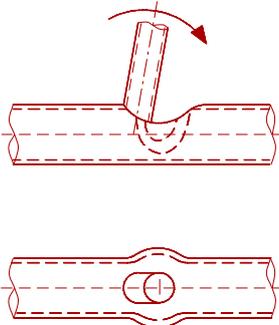
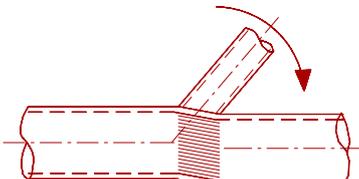
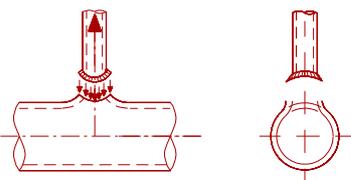
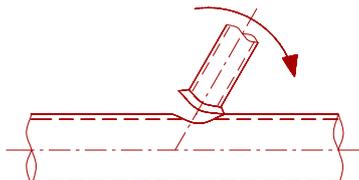
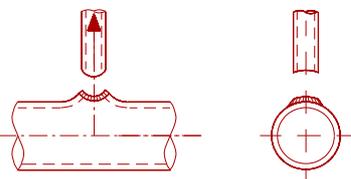
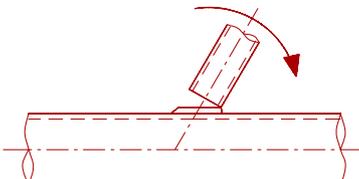
- Si la temperatura del gas de la capa superior supera 500 °C,
- si la altura de la capa superior aumenta hasta suponer el 80% de la altura del sector.

### **A8.7.3 Modelos informáticos de dinámica de fluidos**

Puede utilizarse un modelo informático de dinámica de fluidos para resolver numéricamente las ecuaciones en derivadas parciales, dadas las variables termodinámicas y aerodinámicas para todos los puntos del sector. Estas ecuaciones son la expresión matemática de las leyes de conservación de la física:

- Se conserva la masa del fluido;
- la variación de la cantidad de movimiento de cada partícula de fluido es igual a la suma de las fuerzas ejercidas sobre la misma (segunda ley de Newton);
- la variación de la energía es igual a la suma de la tasa de calentamiento y la tasa de trabajo realizado sobre cada partícula de fluido (primera ley de la termodinámica).

# Anejo 9: Uniones directas de perfiles tubulares

Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		

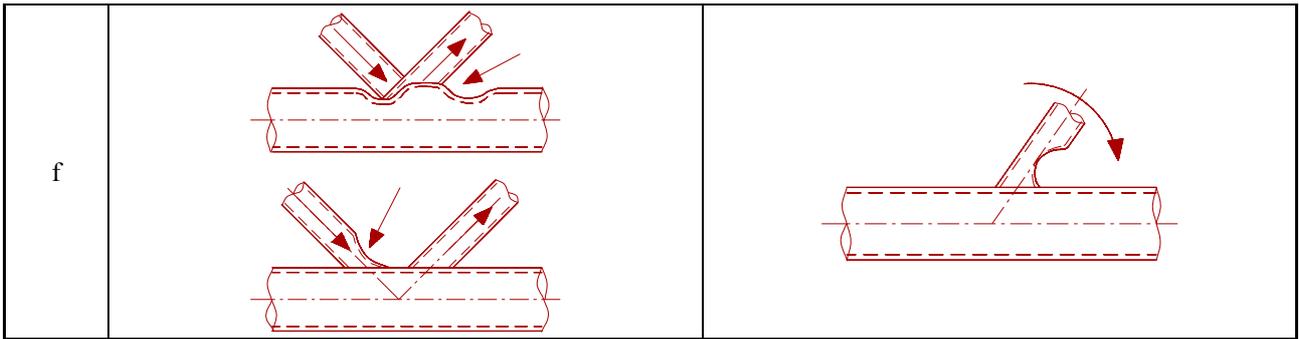


Figura A-9-1: Modos de agotamiento para uniones entre perfiles SHC

Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a		
b		
c		
d		
e		

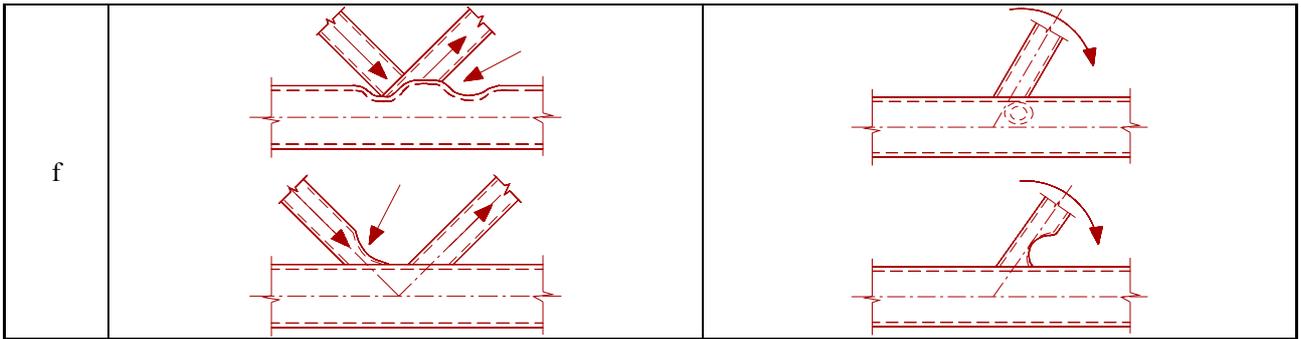


Figura A-9-2: Modos de agotamiento para uniones entre diagonales o montantes SHR y cordones SHR

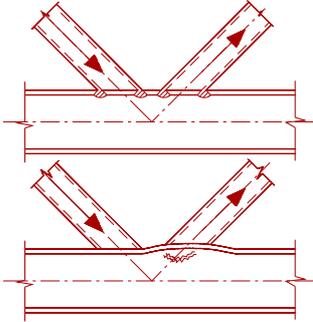
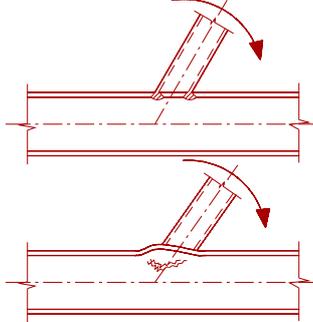
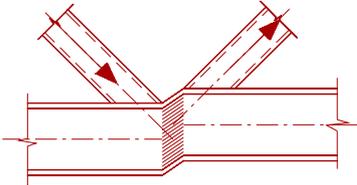
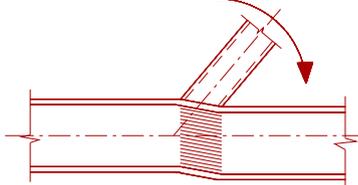
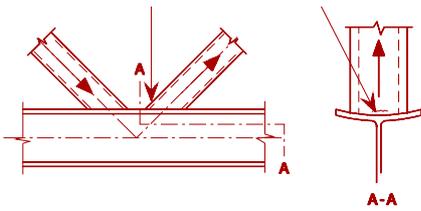
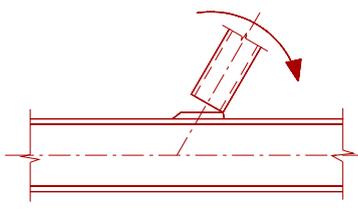
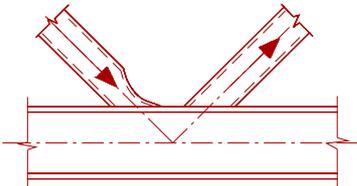
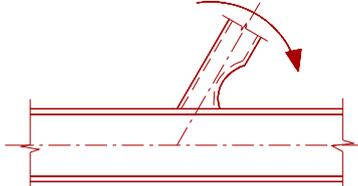
Modo	Esfuerzo axial	Momento flector
a	—	—
b		
c		
d	—	—
e		
f		

Figura A-9-3: Modos de agotamiento para uniones entre diagonales o montantes SHC o SHR y cordones de sección en I o H

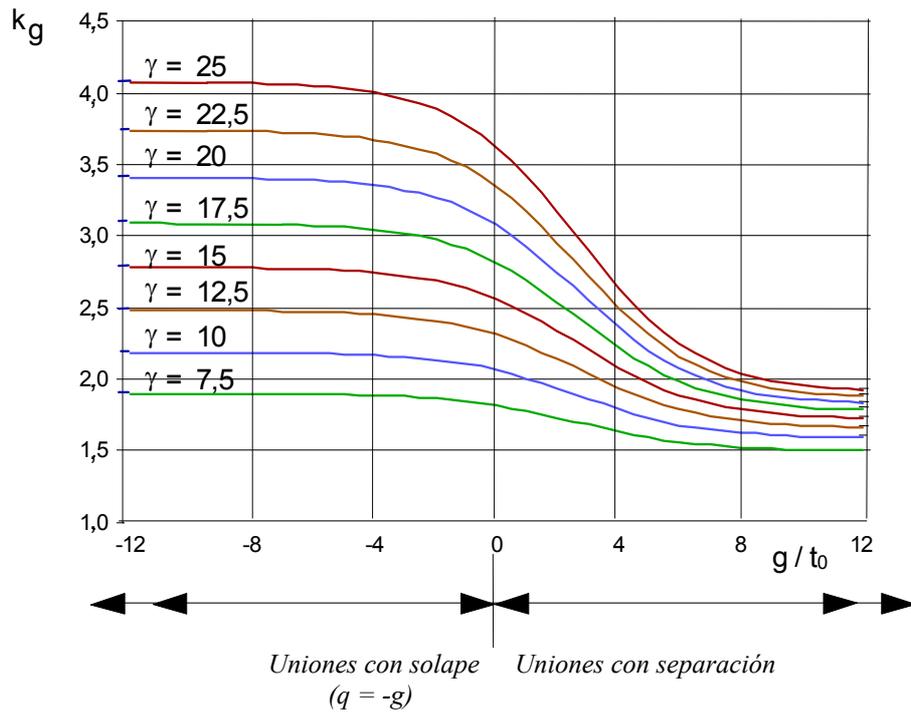
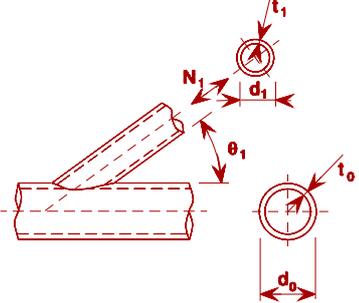
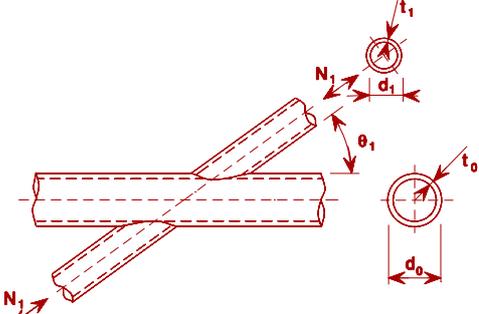
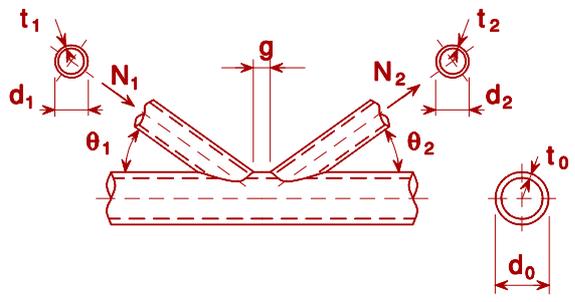


Figura A-9-4: Valores del coeficiente  $k_g$  para utilizar en la tabla A-9-1

**Tabla A-9-1: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHC y cordones SHC**

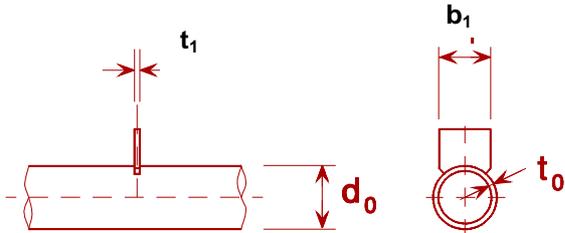
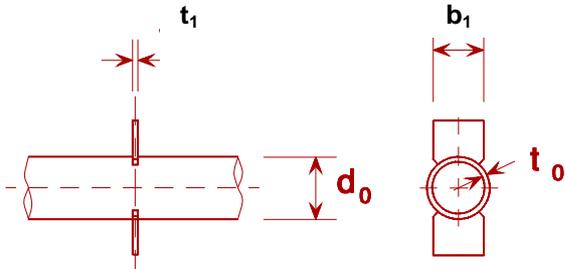
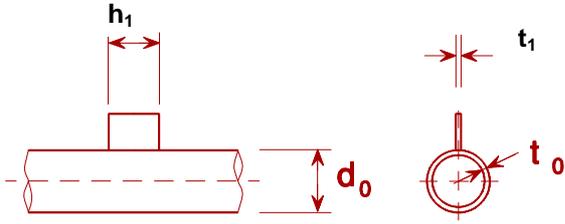
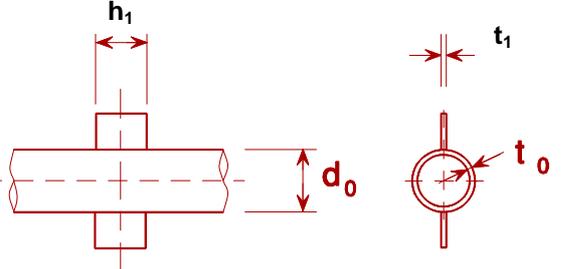
Agotamiento de la cara del cordón	-	Uniones en Y y T
		$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2,8 + 14,2 \beta^2) / \gamma_{M5}$
Agotamiento de la cara del cordón	-	Uniones en X
		$N_{1,Rd} = \frac{k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \frac{5,2}{(1 - 0,81 \beta)} / \gamma_{M5}$
Agotamiento de la cara del cordón o solape	-	Uniones en K y N con separación
		$N_{1,Rd} = \frac{k_g k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} \left( 1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) / \gamma_{M5}$ $N_{2,Rd} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} N_{1,Rd}$
Agotamiento por punzonamiento - Uniones en K, N y KT con separación y todas las uniones en T, Y y X [i = 1, 2 ó 3]		
<p>Cuando <math>d_i \leq d_0 - 2t_0</math>: <math>N_{i,Rd} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_i \frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} / \gamma_{M5}</math></p>		
Factores $k_g$ y $k_p$		
$k_g = \gamma^{0,2} \left( 1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{1 + \exp(0,5 g / t_0 - 1,33)} \right)$		(véase figura A-9-4)

Para  $n_p > 0$  (compresión):  $k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$   
 Para  $n_p \leq 0$  (tracción):  $k_p = 1,0$

pero

$k_p \leq 1,0$

**Tabla A-9-2: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre placas y perfiles SHC**

Agotamiento de la cara del cordón	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = 0$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
	$N_{1,Rd} = 5k_p f_{y0} t_0^2 (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{1p,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0$
Agotamiento por punzonamiento	
$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$	

Rango de validez	Factor $k_p$
<p>Además de los límites dados en la tabla 64.6.1:</p> $\beta \geq 0,4 \quad \text{y} \quad \eta \leq 4$ <p>donde <math>\beta = b_1/d_0</math> y <math>\eta = h_1/d_0</math></p>	<p>Para <math>n_p &gt; 0</math> (compresión):</p> $k_p = 1 - 0,3 n_p(1 + n_p) \quad \text{pero} \quad k_p \leq 1,0$ <p>Para <math>n_p \leq 0</math> (tracción): <math>k_p = 1,0</math></p>

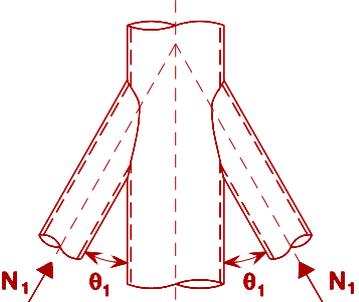
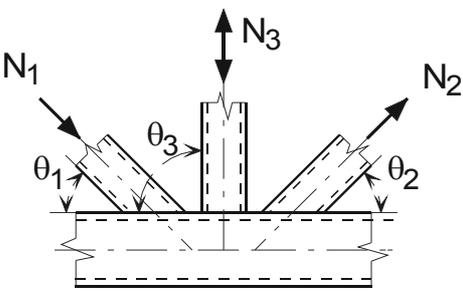
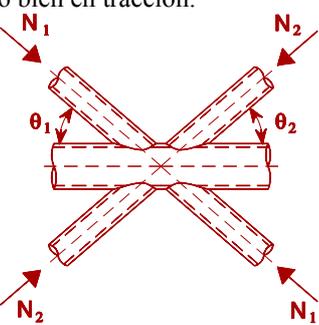
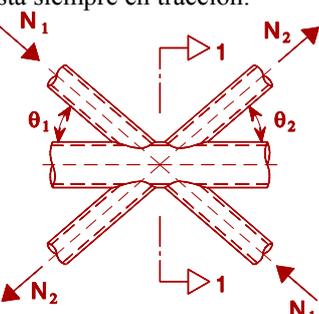
**Tabla A-9-3: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes de sección en I, H o SHR y perfiles SHC**

Agotamiento de la cara del cordón	
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd} / (1 + 0,25\eta)$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = k_p f_{y0} t_0^2 (4 + 20\beta^2)(1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
	$N_{1,Rd} = \frac{5k_p f_{y0} t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\eta) / \gamma_{M5}$ $M_{ip,1,Rd} = h_1 N_{1,Rd}$ $M_{op,1,Rd} = 0,5 b_1 N_{1,Rd}$
Agotamiento por esfuerzo cortante y punzonamiento	
Perfiles I o H :	$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq 2t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$
Perfiles SHR :	$\sigma_{\max} t_1 = (N_{Ed,1} / A_1 + M_{Ed,1} / W_{el,1}) t_1 \leq t_0 (f_{y0} / \sqrt{3}) / \gamma_{M5}$
Donde $t_1$ es el espesor del ala del perfil en I o H transversal, o del perfil tubular.	
Rango de validez	Factor $k_p$
Además de los límites dados en la tabla 64.6.1:	Para $n_p > 0$ (compresión):
$\beta \geq 0,4$ y $\eta \leq 4$	$k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)$ pero $k_p \leq 1,0$
donde $\beta = b_1 / d_0$ y $\eta = h_1 / d_0$	Para $n_p \leq 0$ (tracción): $k_p = 1,0584$

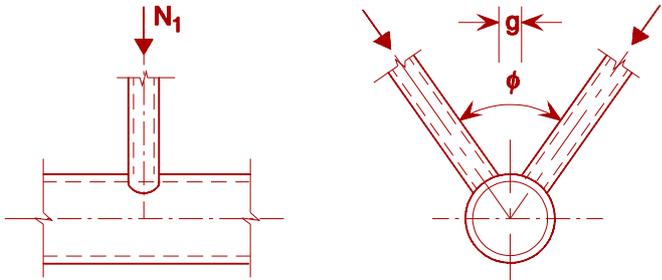
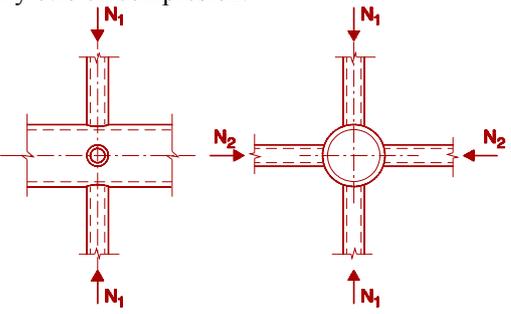
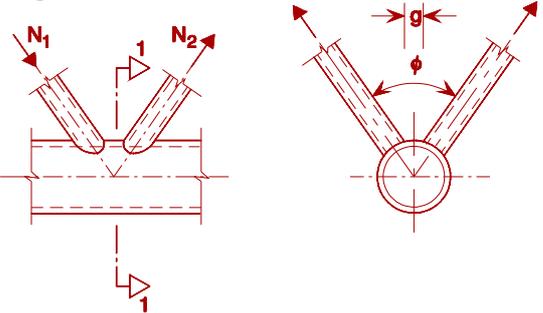
**Tabla A-9-4: Momentos resistentes de cálculo en uniones soldadas entre diagonales o montantes SHC y cordones SHC**

Agotamiento de la cara del cordón - Uniones en T, X, e Y	
	$M_{ip,1,Rd} = 4,85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p / \gamma_{M5}$
Agotamiento de la cara del cordón - Uniones en K, N, T, X, e Y	
	$M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2,7}{1 - 0,81 \beta} k_p / \gamma_{M5}$
Agotamiento por punzonamiento - Uniones en K y N con separación y todas las uniones en T, X e Y	
<p>Cuando <math>d_1 \leq d_0 - 2t_0</math> :</p> $M_{ip,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3 \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$ $M_{op,1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0 d_1^2}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4 \sin^2 \theta_1} / \gamma_{M5}$	
Factor $k_p$	
<p>Para <math>n_p &gt; 0</math> (compresión): <math>k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p)</math> pero <math>k_p \leq 1,0</math>          Para <math>n_p \leq 0</math> (tracción): <math>k_p = 1,0</math></p>	

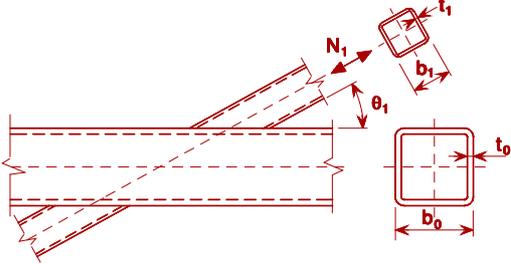
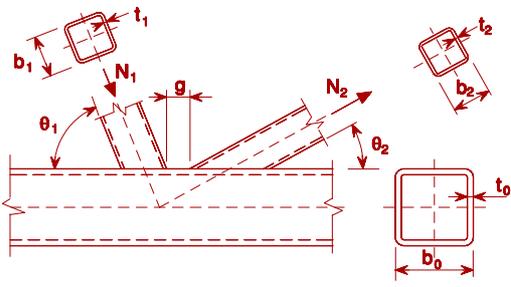
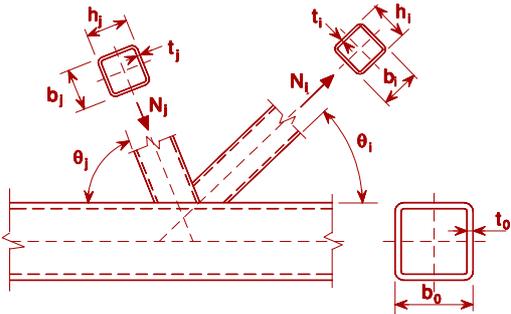
**Tabla A-9-5: Criterios de cálculo para tipos especiales de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHC y cordones SHC**

Tipo de unión	Criterios de cálculo
<p>Los esfuerzos pueden ser de tracción o de compresión, pero deberían actuar en la misma dirección en ambos elementos.</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>donde <math>N_{1,Rd}</math> es el valor de <math>N_{1,Rd}</math> para una unión en X conforme a la tabla A-9-1.</p>
<p>La diagonal 1 está siempre en compresión y la diagonal 2 está siempre en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>donde <math>N_{1,Rd}</math> es el valor de <math>N_{1,Rd}</math> para una unión en K conforme a la tabla A-9-1 pero con <math>\frac{d_1}{d_0}</math> sustituido por:</p> $\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d_0}$
<p>Todas las diagonales deberían estar siempre o bien en compresión o bien en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>donde <math>N_{x,Rd}</math> es el valor de <math>N_{x,Rd}</math> para una unión en X conforme a la tabla A-9-1, siendo <math>N_{x,Rd} \sin \theta_x</math> el mayor de:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1  \text{ y }  N_{2,Rd} \sin \theta_2 $
<p>La diagonal 1 está siempre en compresión y la diagonal 2 está siempre en tracción.</p> 	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>donde <math>N_{i,Rd}</math> es el valor de <math>N_{i,Rd}</math> para una unión en K conforme a la tabla A-9-1. En uniones con separación, en la sección 1-1 del cordón debe cumplirse además:</p> $\left[ \frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

**Tabla A-9-6: Factores de reducción para uniones espaciales**

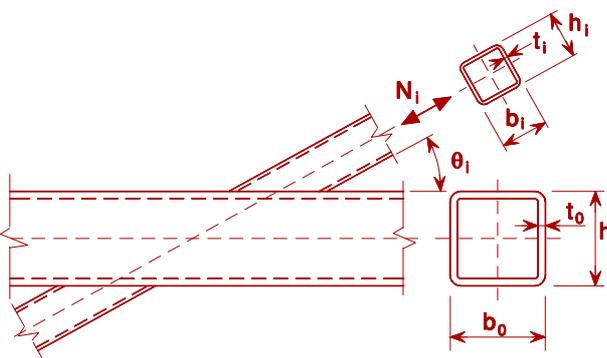
Tipo de unión	Factor de reducción $\mu$
Unión en TT	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
<p>La diagonal 1 puede estar bien en tracción o bien en compresión.</p> 	$\mu = 1,0$
Unión en XX	
<p>Los montantes 1 y 2 pueden estar bien en tracción o bien en compresión. <math>N_{2,Ed}/N_{1,Ed}</math> es negativo si un elemento está en tracción y otro en compresión.</p> 	$\mu = 1 + 0,33 N_{2,Ed} / N_{1,Ed}$ <p>teniendo en cuenta el signo de <math>N_{1,Ed}</math> y <math>N_{2,Ed}</math>  donde: <math> N_{2,Ed}  \leq  N_{1,Ed} </math></p>
Unión en KK	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
<p>La diagonal 1 está siempre en compresión y la diagonal 2 está siempre en tracción.</p> 	$\mu = 0,9$ <p>En uniones con separación, en la sección 1-1 del cordón debe cumplirse además:</p> $\left[ \frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

**Tabla A-9-7: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre perfiles tubulares cuadrados o circulares**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ ó $2$ , $j =$ diagonal o montante solapada]
Uniones en T, Y y X	Agotamiento de la cara del cordón $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\beta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con separación	Agotamiento de la cara del cordón $\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9\gamma^{0,5} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left( \frac{b_1 + b_2}{2b_0} \right) / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape *)	Agotamiento de la diagonal $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
La diagonal i o la diagonal j pueden estar bien en tracción o bien en compresión, pero una debería estar en tracción y la otra en compresión.	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left( b_{eff} + b_{e,ov} + \frac{\lambda_{ov}}{50} (2h_i - 4t_i) \right) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal $\lambda_{ov} \geq 80\%$
$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i [b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i] / \gamma_{M5}$	
Parámetros $b_{eff}$ , $b_{e,ov}$ y $k_n$	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{pero } b_{eff} \leq b_i$	Para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$
$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j/t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{pero } b_{e,ov} \leq b_i$	pero $k_n \leq 1,0$ Para $n \leq 0$ (tracción): $k_n = 1,0$
Para diagonales o montantes de sección circular, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$ , sustituyendo $b_1$ y $h_1$ por $d_1$ y $b_2$ y $h_2$ por $d_2$ .	

\*) Sólo es necesario comprobar la diagonal o montante que solapa  $i$ . La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida entre la resistencia plástica de cálculo de la diagonal o montante) de la diagonal o montante solapada  $j$  no debería considerarse superior a la de la diagonal o montante que solapa.

**Tabla A-9-8: Resistencia de cálculo de uniones soldadas en T, X e Y entre diagonales o montantes SHR o SHC y cordones SHR**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ ]
	Agotamiento de la cara del cordón $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Pandeo de la cara lateral del cordón <sup>1)</sup> $\beta = 1,0$ <sup>2)</sup>
	$N_{i,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin \theta_i} \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante $\beta \geq 0,85$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Punzonamiento $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$	
<sup>1)</sup> Para uniones en X con $\theta < 90^\circ$ se comprueba además, la resistencia a esfuerzo cortante del cordón según lo indicado en la tabla A-9-9, tomando como resistencia de cálculo de la unión, la menor entre ésta y las anteriores.	
<sup>2)</sup> Para $0,85 \leq \beta \leq 1,0$ se interpola linealmente entre el valor de la resistencia de cálculo para el agotamiento de la cara del cordón con $\beta = 0,85$ y el valor del criterio dominante para el agotamiento de la cara lateral del cordón con $\beta = 1,0$ (pandeo de la cara lateral o esfuerzo cortante del cordón).	
Para diagonales o montantes de sección circular, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$ , sustituyendo $b_1$ y $h_1$ por $d_1$ y $b_2$ y $h_2$ por $d_2$ .	
Para tracción: $f_b = f_{y0}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{pero } b_{eff} \leq b_i$
Para compresión: $f_b = \chi f_{y0}$ (uniones en T e Y) $f_b = 0,8 \chi f_{y0} \sin \theta_i$ (uniones en X)	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 / t_0} b_i$ pero $b_{e,n} \leq b_i$

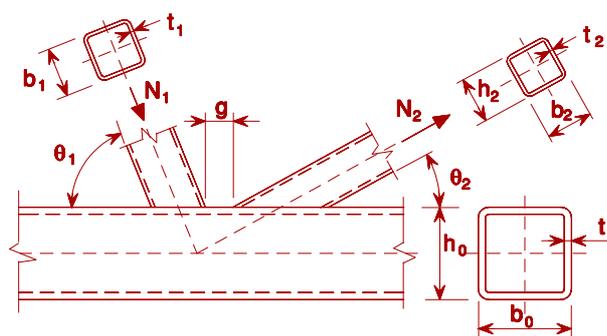
donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción utilizado en el cálculo a pandeo por flexión usando la correspondiente curva de pandeo y una esbeltez  $\bar{\lambda}$  determinada a partir de:

$$\bar{\lambda} = 3,46 \frac{\left(\frac{h_0}{t_0} - 2\right) \sqrt{\frac{1}{\sin \theta_i}}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_{y0}}}}$$

Para  $n > 0$  (Compresión):  $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$   
pero  $k_n \leq 1,0$

para  $n \leq 0$  (Tracción):  $k_n = 1,0$

**Tabla A-9-9: Resistencia de cálculo de uniones soldadas en K y N entre diagonales o montantes SHR o SHC y cordones SHR**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ o $2$ ]
Uniones en K y N con separación	Agotamiento de la cara del cordón
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9k_n f_{y0} t_0^2 \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_i} \left( \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0} \right) / \gamma_{M5}$
	Esfuerzo cortante del cordón
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$
	$N_{0,Rd} = \left[ (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + b_i + b_{eff}) / \gamma_{M5}$
Punzonamiento	$\beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_i} \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape	Como en la tabla A-9-7.
para diagonales o montantes de sección circular, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$ , sustituyendo $b_1$ y $h_1$ por $d_1$ y $b_2$ y $h_2$ por $d_2$ .	
$A_v = (2h_0 + ab_0)t_0$	
para una diagonal o montante de sección cuadrada o rectangular:	$b_{eff} = \frac{10}{b_0 / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yi} t_i} b_i \quad \text{pero } b_{eff} \leq b_i$
	$b_{e,p} = \frac{10}{b_0 / t_0} b_i$ pero $b_{e,p} \leq b_i$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$$

donde  $g$  es la separación.

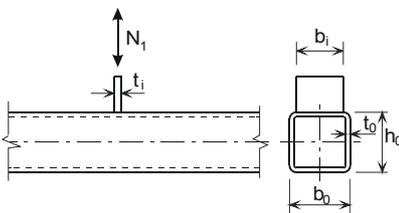
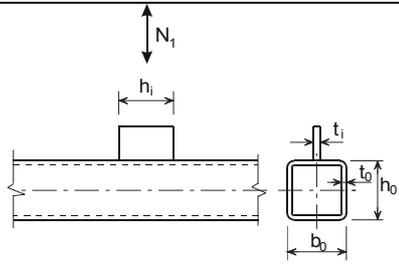
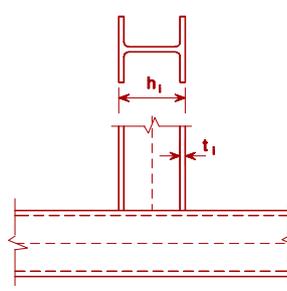
Para una diagonal o montante de sección circular:  $\alpha = 0$

para  $n > 0$  (compresión):  $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$

pero  $k_n \leq 1,0$

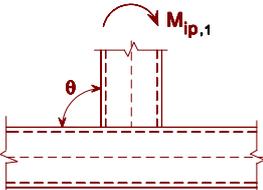
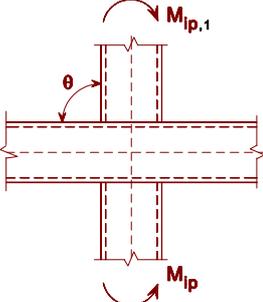
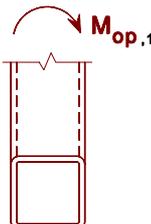
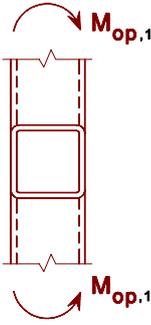
para  $n \leq 0$  (tracción):  $k_n = 1,0$

**Tabla A-9-10: Resistencia de cálculo de uniones soldadas en K y N entre placas o diagonales o montantes de sección en I o H y cordones SHR**

Placa transversal	Agotamiento de la diagonal o montante [ $i = 1$ ]
	$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 b_{eff} / \gamma_{M5} \quad *)$
	Agotamiento de la cara lateral del cordón cuando $b_1 \geq b_0 - 2t_0$
	$N_{1,Rd} = f_{y0} t_0 (2t_1 + 10t_0) / \gamma_{M5}$
	Punzonamiento cuando $b_1 \leq b_0 - 2t_0$ $N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3}} (2t_1 + 2b_{e,p}) / \gamma_{M5}$
Placa longitudinal	Agotamiento de la cara del cordón cuando $\beta \leq 0,85$
 <p><math>t_1/b_0 \leq 0,2</math></p>	$N_{1,Rd} = \frac{k_m f_{y0} t_0^2}{1 - t_1/b_0} (2h_1/b_0 + 4\sqrt{1 - t_1/b_0}) / \gamma_{M5}$
Perfil de sección en I o H	
	Como aproximación conservadora, si $\eta \geq 2\sqrt{1 - \beta}$ , para un perfil de sección en I o H, $N_{1,Rd}$ puede suponerse igual a la suma de las resistencias de cálculo de dos placas transversales de dimensiones similares a las alas del perfil de sección en I o H, determinadas como se especifica anteriormente. Si $\eta < 2\sqrt{1 - \beta}$ , debería hacerse una interpolación lineal entre los supuestos: una única placa ( $\eta=0$ ) y dos placas ( $\eta=2\sqrt{1 - \beta}$ ). $M_{ip,1,Rd} = N_{1,Rd} (h_1 - t_1)$
Rango de validez	
Además de los límites dados en la tabla 64.7.1: $0,5 \leq \beta \leq 1,0$ $b_0/t_0 \leq 30$	
Parámetros $b_{eff}$ , $b_{e,p}$ y $k_m$	
$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$ pero $b_{eff} \leq b_1$	para $n > 0$ (compresión): $k_m = 1,3(1 - n)$

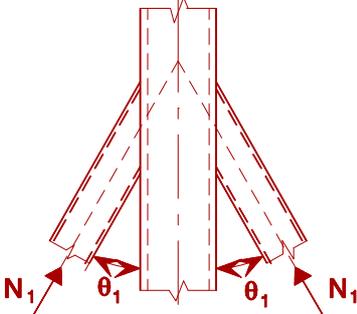
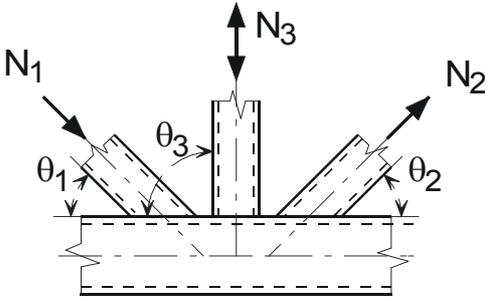
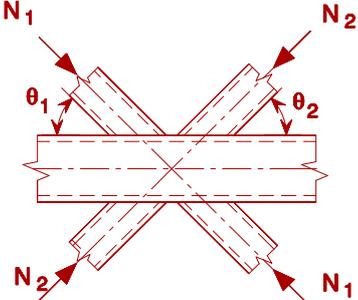
$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} b_1$ <p style="text-align: center;">pero <math>b_{e,p} \leq b_i</math></p>	<p style="text-align: right;">pero <math>k_m \leq 1,0</math></p> <p>para <math>n \leq 0</math> (tensión): <math>k_m = 1,0</math></p>
<p>*) Las conexiones con soldaduras en ángulo deberían calcularse de acuerdo con 59.8.</p>	

**Tabla A-9-11: Momento resistente de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHR y cordones SHR**

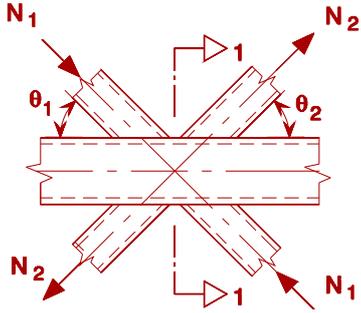
Uniones en T y X	Resistencia de cálculo
Momentos en el plano ( $\theta = 90^\circ$ )	Agotamiento de la cara del cordón <span style="float: right;"><math>\beta \leq 0,85</math></span>
	$M_{ip,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 h_1 \left( \frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{1-\beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la cara lateral del cordón <span style="float: right;"><math>0,85 &lt; \beta \leq 1,0</math></span>
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{yk} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{M5}$ <p style="text-align: center;"> <math>f_{yk} = f_{y0}</math> para uniones en T  <math>f_{yk} = 0,8 f_{y0}</math> para uniones en X         </p>
	Agotamiento de la diagonal o montante <span style="float: right;"><math>0,85 &lt; \beta \leq 1,0</math></span>
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff}/b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5}$
Momentos fuera del plano ( $\theta = 90^\circ$ )	Agotamiento de la cara del cordón <span style="float: right;"><math>\beta \leq 0,85</math></span>
	$M_{op,1,Rd} = k_n f_{y0} t_0^2 \left( \frac{h_1(1+\beta)}{2(1-\beta)} + \sqrt{\frac{2b_0b_1(1+\beta)}{1-\beta}} \right) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la cara lateral del cordón <span style="float: right;"><math>0,85 &lt; \beta \leq 1,0</math></span>
	$M_{op,1,Rd} = f_{yk} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$ <p style="text-align: center;"> <math>f_{yk} = f_{y0}</math> para uniones en T  <math>f_{yk} = 0,8 f_{y0}</math> para uniones en X         </p>
	Agotamiento del cordón por distorsión (sólo uniones en T) *)
	$M_{op,1,Rd} = 2 f_{y0} t_0 (h_1 t_0 + \sqrt{b_0 h_0 t_0 (b_0 + h_0)}) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante <span style="float: right;"><math>0,85 &lt; \beta \leq 1,0</math></span>
	$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0,5(1 - b_{eff}/b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$

Parámetros $b_{eff}$ y $k_n$	
$\frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{y1} t_1} b_1$	$b_{eff} =$ para $n > 0$ (compresión): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$ pero $k_n \leq 1,0$ pero $b_{eff} \leq b_1$ para $n \leq 0$ (tracción): $k_n = 1,0$
*) Este criterio no se aplica donde el agotamiento del cordón por distorsión se evite por otros medios.	

**Tabla A-9-12: Criterios de cálculo para tipos especiales de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHR y cordones SHR**

Tipo de unión	Criterios de cálculo
<p>Los esfuerzos pueden ser de tracción o de compresión actuando en la misma dirección en ambos elementos</p> 	$N_{1,Ed} \leq N_{1,Rd}$ <p>donde <math>N_{1,Rd}</math> es el valor de <math>N_{1,Rd}</math> para una unión en X conforme a la tabla A-9-8.</p>
<p>La diagonal 1 está siempre en compresión y la diagonal 2 está siempre en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{3,Ed} \sin \theta_3 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ $N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{1,Rd} \sin \theta_1$ <p>donde <math>N_{1,Rd}</math> es el valor de <math>N_{1,Rd}</math> para una unión en K conforme a la tabla A-9-9, pero con <math>\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}</math></p> <p>sustituido por: <math>\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3}{6b_0}</math></p>
<p>Todas las diagonales deberían estar siempre o bien en compresión o bien en tracción.</p> 	$N_{1,Ed} \sin \theta_1 + N_{2,Ed} \sin \theta_2 \leq N_{x,Rd} \sin \theta_x$ <p>donde <math>N_{x,Rd}</math> es el valor de <math>N_{x,Rd}</math> para una unión en X conforme a la tabla A-9-8, y <math>N_{x,Rd} \sin \theta_x</math> es el mayor de:</p> $ N_{1,Rd} \sin \theta_1  \quad \text{y} \quad  N_{2,Rd} \sin \theta_2 $

La diagonal 1 está siempre en compresión y la diagonal 2 está siempre en tracción.

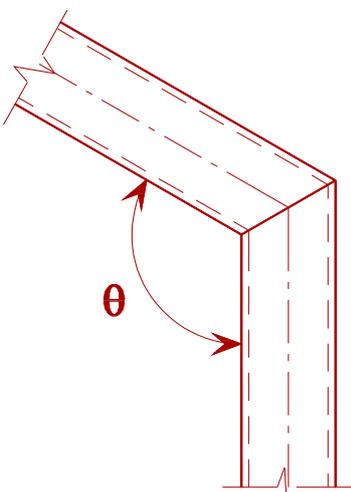
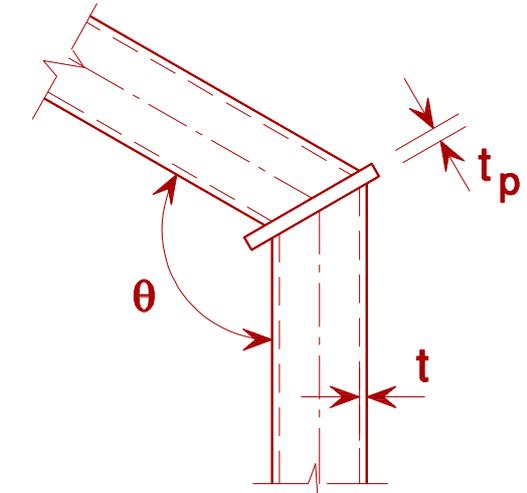


$$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$$

donde  $N_{i,Rd}$  es el valor de  $N_{i,Rd}$  para una unión en K conforme a la tabla A-9-9. En uniones con separación, en la sección 1-1 del cordón debe cumplirse además:

$$\left[ \frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$$

**Tabla A-9-13: Criterios de cálculo para uniones soldadas acodadas y uniones con cordón SHR acodado**

Tipo de unión	Criterios
Uniones soldadas acodadas	
	<p>La sección transversal debería ser de Clase 1 para flexión pura.</p> $N_{Ed} \leq 0,2N_{pl,Rd}$ <p>y</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq \kappa$ <p>Si <math>\theta \leq 90^\circ</math> :</p> $\kappa = \frac{3\sqrt{b_0/h_0}}{[b_0/t_0]^{0,8}} + \frac{1}{1+2b_0/h_0}$ <p>Si <math>90^\circ &lt; \theta \leq 180^\circ</math> :</p> $\kappa = 1 - (\sqrt{2} \cos(\theta/2))(1 - \kappa_{90})$ <p>donde <math>\kappa_{90}</math> es el valor de <math>\kappa</math> para <math>\theta = 90^\circ</math>.</p>
	$t_p \geq 1,5t \quad y \quad \geq 10 \text{ mm}$ $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$
Cordón acodado	

<p>Extensión imaginaria del cordón</p>	$N_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$ <p>donde <math>N_{i,Rd}</math> es el valor de <math>N_{i,Rd}</math> para una unión en K o N con solape conforme a la tabla A-9-9.</p>
--	--

**Tabla A-9-14: Resistencia de cálculo de uniones soldadas reforzadas en T, Y y X entre diagonales o montantes SHR o SHC y cordones SHR**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ ]
Reforzada con placas de ala para evitar el agotamiento de la cara del cordón, agotamiento de la diagonal o montante o punzonamiento.	
Esfuerzo de tracción	$\beta_p \leq 0,85$
	$l_p \geq \frac{h_i}{\sin \theta_i} + \sqrt{b_p(b_p - h_i)} \geq 1,5h_i / \sin \theta_i$ <p>y <math>b_p \geq b_o - 2t_o</math></p> $N_{i,Rd} = \frac{f_{yp} t_p^2}{(1 - b_i / b_p) \sin \theta_i} \cdot \dots$ $\dots \cdot \left( \frac{2h_i / b_p}{\sin \theta_i} + 4\sqrt{1 - b_i / b_p} \right) / \gamma_{M5}$
Esfuerzo de compresión	$\beta_p \leq 0,85$

	$l_p \geq \frac{h_i}{\sin \theta_i} + \sqrt{b_p (b_p - b_i)} \geq 1,5 h_i / \sin \theta_i$ <p>Y</p> $b_p \geq b_o - 2t_o$ <p>Se toma <math>N_{i,Rd}</math> como el valor de <math>N_{i,Rd}</math> para una unión en T, X o Y conforme a la tabla A-9-8, pero con <math>k_n = 1,0</math> y sustituyendo <math>t_0</math> por <math>t_p</math> únicamente para los tipos de agotamiento de la cara del cordón, de la diagonal o montante y de punzonamiento.</p>
--	--

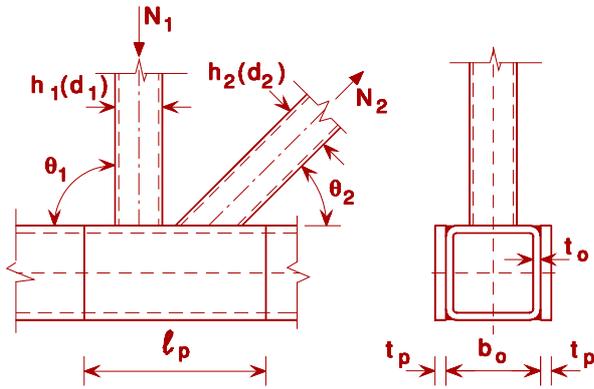
Reforzada con placas laterales para evitar el agotamiento de la cara lateral del cordón o el agotamiento del cordón por esfuerzo cortante.

	$l_p \geq 1,5 h_i / \sin \theta_i$ <p>Se toma <math>N_{i,Rd}</math> como el valor de <math>N_{i,Rd}</math> para una unión en T, X o Y conforme a la tabla A-9-8, pero sustituyendo <math>t_0</math> por <math>(t_0 + t_p)</math> únicamente para los tipos de agotamiento de la cara lateral del cordón y de agotamiento del cordón por esfuerzo cortante.</p>
--	--

**Tabla A-9-15: Resistencia de cálculo de uniones soldadas reforzadas en K y N entre diagonales o montantes SHR o SHC y cordones SHR**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ ó $2$ ]
<p>Reforzada con placas de ala para evitar el agotamiento de la cara del cordón, agotamiento de la diagonal o montante o punzonamiento.</p>	$l_p \geq 1,5 \left( \frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$ $b_p \geq b_o - 2t_o$ $t_p \geq 2t_1 \text{ y } 2t_2$ <p>Se toma <math>N_{i,Rd}</math> como el valor de <math>N_{i,Rd}</math> para una unión en K o N conforme a la tabla A-9-9, pero sustituyendo <math>t_0</math> por <math>t_p</math> únicamente para los tipos de agotamiento de la cara del cordón, de la diagonal o montante y de punzonamiento.</p>

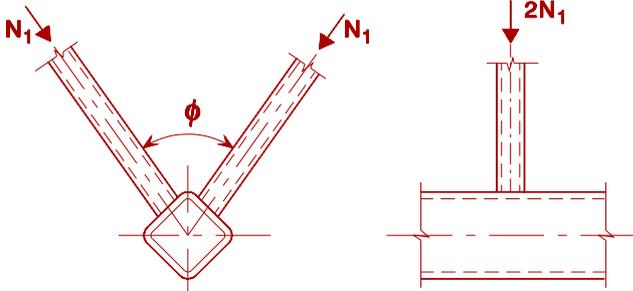
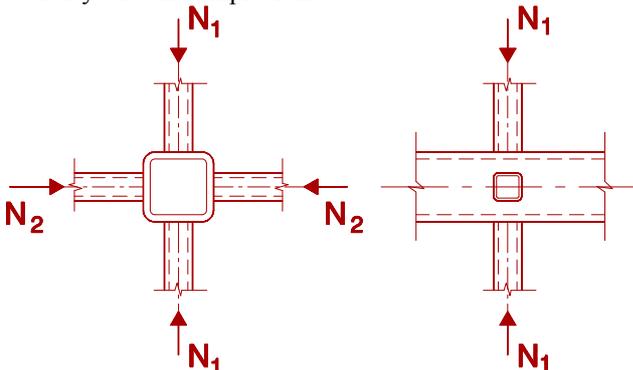
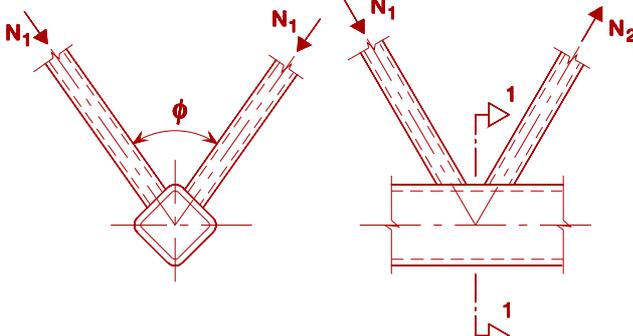
Reforzada con placas laterales para evitar el agotamiento del cordón por esfuerzo cortante.



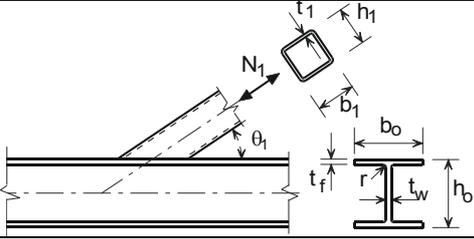
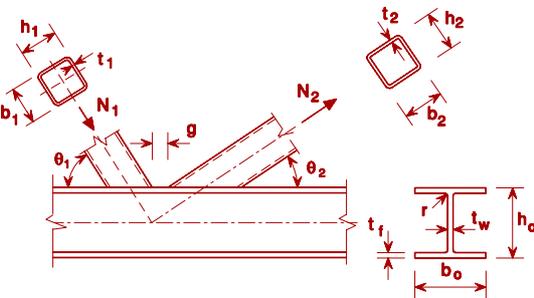
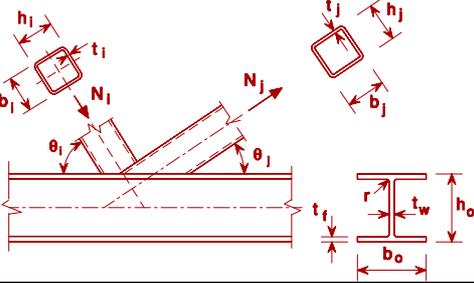
$$l_p \geq 1,5 \left( \frac{h_1}{\sin \theta_1} + g + \frac{h_2}{\sin \theta_2} \right)$$

Se toma  $N_{i,Rd}$  como el valor de  $N_{i,Rd}$  para una unión en K o N conforme a la tabla A-9-9, pero sustituyendo  $t_0$  por  $(t_0 + t_p)$  únicamente para el tipo de agotamiento del cordón por esfuerzo cortante.

**Tabla A-9-16: Factores de reducción para uniones espaciales**

Tipo de unión	Factor de reducción $\mu$
Unión en TT	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
<p>La diagonal 1 puede estar bien en tracción o bien en compresión.</p> 	$\mu = 0,9$
Unión en XX	
<p>Los montantes 1 y 2 pueden estar o bien en tracción o bien en compresión. <math>N_{2,Ed}/N_{1,Ed}</math> es negativo si un elemento está en tracción y otro en compresión.</p> 	$\mu = 0,9(1 + 0,33N_{2,Ed} / N_{1,Ed})$ <p>teniendo en cuenta el signo de <math>N_{1,Ed}</math> y <math>N_{2,Ed}</math>  donde <math> N_{2,Ed}  \leq  N_{1,Ed} </math></p>
Unión en KK	$60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$\mu = 0,9$ <p>En uniones con separación, en la sección 1-1 del cordón debe cumplirse además:</p> $\left[ \frac{N_{0,Ed}}{N_{pl,0,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{V_{0,Ed}}{V_{pl,0,Rd}} \right]^2 \leq 1,0$

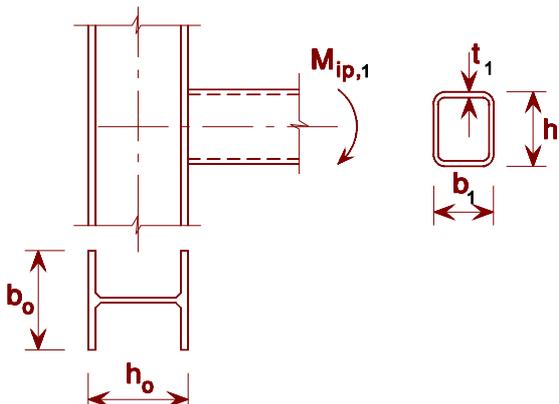
**Tabla A-9-17: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHC o SHR y cordones de sección en I o H**

Tipo de unión	Cálculo de resistencia [ $i = 1$ ó $2$ , $j =$ diagonal o montante solapada]	
Uniones en T, Y y X	Agotamiento del alma del cordón	
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	
	Agotamiento de la diagonal	
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$	
Uniones en K y N con separación [ $i = 1$ ó $2$ ]	Plastificación del alma del cordón	El agotamiento de la diagonal no precisa verificación si:
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1} / \gamma_{M5}$	$g/t_f \leq 20 - 28\beta$ ; $\beta \leq 1,0 - 0,03\gamma$ donde $\gamma = b_0/2t_f$
	Agotamiento de la diagonal	y para SHC: $0,75 \leq d_1 / d_2 \leq 1,33$
	$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5}$	o para SHR: $0,75 \leq b_1 / b_2 \leq 1,33$
	Esfuerzo cortante del cordón	
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$	$N_{0,Rd} = \left[ (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{p1,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape*) [ $i = 1$ ó $2$ ]	Agotamiento de la diagonal	
Las diagonales $i$ y $j$ pueden estar o bien en tracción o bien en compresión.	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i \left( p_{eff} + b_{e,ov} + (2h_i \frac{\lambda_{ov}}{50} - 4t_i) \lambda_{ov} / 50 \right) / \gamma_{M5}$	
	Agotamiento de la diagonal	$50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (p_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
	Agotamiento de la diagonal	$\lambda_{ov} \geq 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$	
$A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f$ <p>Para diagonales o montantes SHR:</p> $\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / (3t_f)^2}}$ <p>Para diagonales o montantes SHC: <math>\alpha = 0</math></p>	$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}$ pero $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ para uniones en T, Y, X y uniones en K y N con separación y $p_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$ para uniones en K y N con solape.	$b_w = \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r)$ pero $b_w \leq 2t_i + 10(t_f + r)$
	$b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} b_i$ pero $b_{e,ov} \leq b_i$	

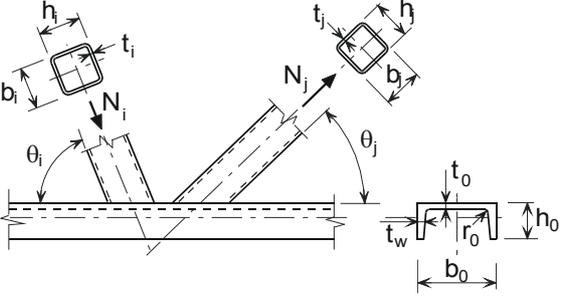
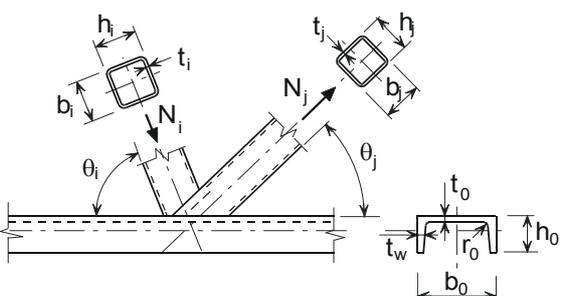
Para diagonales o montantes SHC se multiplican las resistencias anteriores para agotamiento de la diagonal o montante por  $\pi/4$  sustituyendo,  $b_1$  y  $h_1$  por  $d_1$  y  $b_2$  y  $h_2$  por  $d_2$ .

\*) Sólo es necesario comprobar la diagonal o montante que solapa  $i$ . La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida entre la resistencia plástica de cálculo de la diagonal o montante) de la diagonal o montante solapada  $j$  no debería considerarse superior a la de la diagonal o montante que solapa.

**Tabla A-9-18: Momentos resistentes de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHR y cordones de sección en I o H**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [ $i = 1$ ó $2, j =$ diagonal o montante solapada]
Uniones en T e Y	Agotamiento del alma del cordón
	$M_{ip,1,Rd} = 0,5 f_{y0} t_w b_w h_1 / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante
	$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} t_1 p_{eff} (h_1 - t_1) / \gamma_{M5}$
Parámetros $p_{eff}$ y $b_w$	
$p_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1}$ <p style="text-align: center;">pero <math>p_{eff} \leq b_1 + h_1 - 2t_1</math></p>	$b_w = \frac{h_1}{\sin \theta_1} + 5(t_f + r) \quad \text{pero } b_w \leq 2t_1 + 10(t_f + r)$

**Tabla A-9-19: Resistencia de cálculo de uniones soldadas entre diagonales o montantes SHC o SHR y cordones de sección en U**

Tipo de unión	Resistencia de cálculo [i = 1 ó 2, j = diagonal o montante solapada]
Uniones en K y N con separación	Agotamiento de la diagonal o montante
	$N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_i + b_{eff} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento del cordón
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$ $N_{0,Rd} = \left[ (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2} \right] / \gamma_{M5}$
Uniones en K y N con solape *)	Agotamiento de la diagonal o montante $25\% \leq \lambda_{ov} < 50\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_{eff} + b_{e,ov} + (2h_i - 4t_i) \lambda_{ov} / 50) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante $50\% \leq \lambda_{ov} < 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_{eff} + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
	Agotamiento de la diagonal o montante $\lambda_{ov} \geq 80\%$
	$N_{i,Rd} = f_{yt_i} (b_i + b_{e,ov} + 2h_i - 4t_i) / \gamma_{M5}$
$A_v = A_0 - (1 - \alpha) b_0^* t_0$ $b_0^* = b_0 - 2(t_w + r_0)$ <p>Para SHR: <math display="block">\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}}</math></p> <p>Para SHC: <math display="block">\alpha = 0</math></p> $V_{pl,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$ $V_{Ed} = (N_{i,Ed} \sin \theta_i)_{max}$	$b_{eff} = \frac{10}{b_0^* / t_0} \frac{f_{y0} t_0}{f_{yt_i}} b_i \quad \text{pero} \quad b_{eff} \leq b_i$ $b_{e,ov} = \frac{10}{b_j / t_j} \frac{f_{yt_j}}{f_{yt_i}} b_i \quad \text{pero} \quad b_{e,ov} \leq b_i$
Para diagonales o montantes SHC, excepto para el tipo de agotamiento del cordón, se multiplican las resistencias anteriores por $\pi/4$ sustituyendo $b_1$ y $h_1$ por $d_1$ y $b_2$ y $h_2$ por $d_2$ .	
*) Sólo es necesario comprobar la diagonal o montante que solapa i. La eficiencia (es decir, la resistencia de cálculo de la unión dividida entre la resistencia plástica de cálculo de la diagonal o montante) de la diagonal o montante solapada j no debería considerarse superior a la de la diagonal o montante que solapa.	

# **Anejo 10: Niveles de garantía y requisitos para el reconocimiento oficial de los distintivos de calidad**

## **A10.1 Introducción**

Esta Instrucción establece la posibilidad de que la Dirección Facultativa aplique unas consideraciones especiales para algunos productos cuando éstos presenten voluntariamente unos niveles de garantía adicionales a los mínimos reglamentariamente exigidos, de acuerdo con el Artículo 84º.

En el caso general, dichos niveles de garantía adicionales se demuestran mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido por una Administración competente en el ámbito de la construcción y perteneciente a algún Estado miembro de la Unión Europea, a algún Estado firmante del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo o a algún Estado que tenga suscrito con la Unión Europea un acuerdo para el establecimiento de una Unión Aduanera, en cuyo caso, el nivel de equivalencia se constatará mediante la aplicación, a estos efectos, de los procedimientos establecidos en la Directiva 89/106/CEE.

## **A10.2 Niveles de garantía de productos**

En el caso de productos que deban estar en posesión del mercado CE, de acuerdo con la Directiva 89/106/CEE, el nivel de garantía reglamentariamente exigible es el asociado al citado mercado CE, especificado en las correspondientes normas europeas armonizadas y que permite su libre comercialización en el Espacio Económico Europeo. En el caso de productos para los que no esté en vigor el mercado CE, el nivel de garantía reglamentariamente exigible es el establecido por el Articulado de esta Instrucción.

Adicionalmente, y de forma voluntaria, el Fabricante de cualquier producto puede optar por la posesión de un distintivo de calidad que avale un nivel de garantía superior al mínimo establecido por esta Instrucción. En el caso de productos con mercado CE, dichos distintivos de calidad deberán aportar valores añadidos respecto a características no amparadas por el citado mercado.

Al tratarse de iniciativas voluntarias, los distintivos de calidad pueden presentar diferentes criterios para su concesión en los correspondientes procedimientos particulares. Por ello, este Anejo establece las condiciones que permitan discriminar cuándo conllevan un nivel de garantía adicional al mínimo reglamentario y pueden, por lo tanto, ser objeto de reconocimiento oficial por parte de las Administraciones competentes.

## **A10.3 Bases técnicas para el reconocimiento oficial de los distintivos**

La Administración competente que efectúe el reconocimiento oficial del distintivo deberá comprobar que se cumplen los requisitos incluidos en este Anejo para el reconocimiento oficial y velar para que estos se mantengan. Para lograr este objetivo,

la Administración, guardando la necesaria confidencialidad, podrá intervenir en todas aquellas actividades que considere relevantes para el reconocimiento del distintivo.

La disposición oficial en la que la Administración competente efectúe el reconocimiento deberá hacer constar explícitamente que se efectúa a los efectos de lo indicado en esta Instrucción y de acuerdo con las bases técnicas incluidas en este Anejo.

#### **A10.4 Requisitos de carácter general de los distintivos**

Para su reconocimiento oficial, el distintivo deberá:

- Ser de carácter voluntario y otorgado por un organismo certificador que cumpla los requisitos de este Anejo.
- Ser conformes con esta Instrucción e incluir en su reglamento regulador la declaración explícita de dicha conformidad.
- Otorgarse sobre la base de un reglamento regulador que defina sus garantías particulares, su procedimiento de concesión, su régimen de funcionamiento, sus requisitos técnicos y las reglas para la toma de decisiones relativas al mismo. Dicho reglamento deberá estar a disposición pública, estar definido en términos claros y precisos y aportar una información exenta de ambigüedades tanto para el cliente del certificador como para el resto de las partes interesadas. Asimismo, dicho reglamento contemplará procedimientos específicos tanto para el caso de instalaciones ajenas a la obra como para instalaciones que pertenezcan a la misma.
- Garantizar la independencia e imparcialidad en su concesión para lo cual, entre otras medidas, no permitirá la participación en cualquiera de sus órganos de decisión de personas que desarrollen actividades de asesoría o consultoría relacionadas con el objeto de la certificación.
- Incluir, en su reglamento regulador, el tratamiento correspondiente para productos certificados en los que se presenten resultados de ensayos del control de producción no conformes, para garantizar que se inician inmediatamente las oportunas acciones correctivas y, en su caso, se informe a los clientes. En dicho reglamento se definirá también el plazo máximo que podrá transcurrir desde que la no conformidad sea detectada y las acciones correctoras que deban ser llevadas a cabo.
- Establecer las exigencias mínimas que deben cumplir los laboratorios que trabajan en la certificación.
- Establecer como requisito para la concesión que debe disponerse de datos del control de producción durante un período de, al menos, seis meses en el caso de productos desarrollados en instalaciones ajenas a la obra. En el caso de instalaciones de obra, el reglamento regulador contemplará criterios para garantizar el mismo nivel de información de la producción y de garantía al usuario.
- En el caso de productos no contemplados en este Anejo pero sí en esta Instrucción, deberá aportar garantías adicionales sobre características distintas de las exigidas reglamentariamente, pero que puedan contribuir al cumplimiento de los requisitos recogidos en esta Instrucción.

## **A10.5 Requisitos de carácter específico de los distintivos**

Esta Instrucción define, además de los requisitos generales exigidos en el apartado 4 de este Anejo, unos requisitos específicos que deben contemplar los distintivos de calidad para poder ser reconocidos por una Administración competente.

### **A10.5.1 Elementos fabricados en taller**

El distintivo de calidad deberá:

- Garantizar que la recepción de los productos de acero y de los elementos de unión empleados, en su caso, así como el sistema de acopios permite una perfecta trazabilidad mediante un control continuo y documentado del consumo de dichos productos.
- Exigir un sistema informatizado del control de la trazabilidad de los elementos respecto a los productos empleados.
- Exigir que, cuando se produzcan discontinuidades superiores a 1 mes en la producción, el fabricante comunicará al organismo certificador dicha discontinuidad. En caso contrario se someterá al régimen sancionador que deberá establecerse en el reglamento regulador del distintivo. Las exigencias a la producción y la intensidad de los controles tras la discontinuidad deberán estar previstas en el reglamento regulador, en función de las causas que la hubiesen motivado.
- Obligar a que los talleres dispongan de sistemas de etiquetado mediante códigos informatizados que garanticen la trazabilidad de los elementos y que permitan la gestión posterior de la trazabilidad en la obra.
- Definir y aplicar, en su caso, un régimen sancionador que garantice el mínimo impacto de la producción de productos no conformes en el usuario. A este fin, no podrán transcurrir más de 3 meses desde que se detecte una no conformidad relativa a los requisitos del producto hasta que, si no se hubiera solventado, se suspenda el uso de la marca para dicho producto certificado.

### **A10.5.2 Productos de acero**

El distintivo de calidad para productos de acero deberá:

- Garantizar un valor añadido respecto a las características que no queden contempladas por el mercado CE.
- Garantizar valores añadidos enfocados a los procesos de transformación en los talleres de montaje.
- Garantizar características de los productos que sean coherentes con las consideraciones especiales que contempla, para dichos casos, esta Instrucción.
- Exigir que los fabricantes dispongan de sistemas de etiquetado mediante códigos informatizados que garanticen la trazabilidad del acero hasta el nivel de colada y que permita la gestión de la referida trazabilidad por el cliente.

## **A10.6 Requisitos generales del organismo certificador**

Será un organismo acreditado conforme al Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre, de conformidad con UNE-EN ISO 45011 para el caso de certificación de productos.

El organismo certificador pondrá a disposición de la Administración competente que realice el reconocimiento toda la información necesaria para el correcto desarrollo de las actividades que le competen en relación al reconocimiento del distintivo.

Asimismo, el organismo certificador deberá:

- Notificar a la Administración competente que realice el reconocimiento oficial cualquier cambio que se produjese en las condiciones iniciales en las que se concedió el reconocimiento.
- Dotarse de un órgano, específico para cada producto, que analice la aplicación del reglamento regulador y adopte o, en su caso, proponga la adopción de decisiones relativas a la concesión del distintivo. En su composición deberán estar representados equitativamente los fabricantes, los usuarios y los agentes colaboradores con la certificación (laboratorios, auditores, etc.).
- Comprobar que el laboratorio utilizado para realizar el control de producción cuenta con los recursos materiales y humanos suficientes.
- Comprobar la conformidad de los resultados de ensayo del control de producción con una periodicidad adecuada a la fabricación del producto y, en ningún caso, menos de una vez al semestre. Para ello, sus reglamentos reguladores establecerán criterios de aceptación, tanto estadísticos como puntuales. Para el análisis de estos resultados de ensayo, el reglamento regulador establecerá también los criterios para su corrección, en función de los resultados obtenidos por el laboratorio verificador en los ensayos de contraste. Deberá comprobarse la conformidad estadística tanto de los resultados de autocontrol corregidos, como de los no corregidos.
- Efectuar, mediante laboratorios verificadores, ensayos de contraste periódicos de las propiedades de los productos amparados por el distintivo. La toma de muestras para efectuar estos ensayos debe realizarse garantizando la representatividad y la correcta distribución a los laboratorios verificadores y también a los laboratorios propios de los fabricantes, en su caso. El organismo certificador, en función de los resultados obtenidos, efectuará, en su caso, correcciones de los datos obtenidos en el control de producción.
- Organizar programas de ensayo interlaboratorios, con periodicidad mínima anual, que permitan seguir la evolución de los laboratorios verificadores.
- Establecer un sistema de seguimiento en el mercado, de forma que todos los productos amparados por el distintivo sean objeto de análisis de forma periódica, tomando muestras para su ensayo y comprobando que la documentación permite, en todo caso, garantizar tanto la trazabilidad como la coincidencia del producto suministrado con las características del mismo que figuran en la hoja de suministro.

## **A10.7 Requisitos generales de los laboratorios verificadores**

Deberán ser laboratorios propios del certificador o subcontratados, acreditados según el Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre conforme a UNE-EN ISO/IEC 17025 o pertenecientes a alguna Administración Pública con competencias en el ámbito de la construcción de los contemplados en el apartado 78.2.2.1.

## **A10.8 Requisitos relativos a la instalación de producción**

La instalación de producción deberá:

- Tener implantado un sistema de gestión de la calidad auditado por un organismo certificador acreditado según el Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre, conforme a UNE-EN ISO/IEC 17021. Dicho sistema será conforme a la norma UNE-EN ISO 9001, en las partes que le sean de aplicación.
- Disponer de un laboratorio para el control continuo de la producción y del producto a suministrar, propio o contratado.
- Tener definido y desarrollado un control de producción continuo en fábrica, de cuyos datos deberá disponerse, al menos, durante un período de seis meses antes de la concesión. Dicho período podrá ser de dos meses en algunos casos especiales en los que se fabrique regularmente el mismo producto, como por ejemplo en el de las instalaciones de obra. Para estos casos, el reglamento regulador incluirá criterios específicos que garanticen el mismo nivel de garantía al usuario que en el caso general, de forma que pueda concederse el distintivo en un plazo máximo de dos meses desde la presentación de los referidos datos de autocontrol.
- Tener suscrita una póliza de seguro que ampare su responsabilidad civil por posibles productos defectuosos por él fabricados, en una cuantía suficiente, de acuerdo con lo establecido por el reglamento regulador del distintivo de calidad.
- Disponer de un sistema de información sobre los resultados del control de producción, que sea accesible para el usuario, mediante procedimientos informáticos (internet, etc.).

# Anejo 11: Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad

## A11.1 Consideraciones generales

El proyecto, la ejecución y el mantenimiento de las estructuras de acero constituyen actividades, enmarcadas en el contexto general de la construcción, que pueden contribuir a la consecución de las condiciones que permitan un adecuado desarrollo sostenible.

La sostenibilidad es un concepto global, no específico de las estructuras de acero, que requiere que se satisfagan una serie de criterios medioambientales, así como otros de carácter económico y social. La contribución a la sostenibilidad de las estructuras de acero depende, por lo tanto, del cumplimiento de criterios como el uso racional de la energía empleada (tanto para la elaboración de los productos de construcción, como para el desarrollo de la ejecución), el empleo de recursos renovables, el empleo de productos reciclados y la minimización de los impactos sobre la naturaleza como consecuencia de la ejecución y la creación de zonas de trabajo saludables. Además, el proyecto, la ejecución y el mantenimiento de las estructuras de acero pueden tener en cuenta otros aspectos como la amortización de los impactos iniciales durante la vida útil de la estructura, la optimización de los costes de mantenimiento, la incorporación de técnicas innovadoras resultado de estrategias empresariales de I+D+i, la formación continua del personal que participa en las diversas fases de la estructura, u otros aspectos de carácter económico o social.

Sin perjuicio del cumplimiento de la legislación de protección ambiental vigente, la Propiedad podrá establecer que la ejecución de la estructura tenga en cuenta una serie de consideraciones de carácter medioambiental, al objeto de minimizar los potenciales impactos derivados de dicha actividad. En su caso, dicha exigencia debería incluirse en un Anejo de evaluación ambiental de la estructura, que formará parte del proyecto. En caso de que el proyecto no contemplara este tipo de exigencias para la fase de ejecución, la Propiedad podrá obligar a su cumplimiento mediante la introducción de las cláusulas correspondientes en el contrato con el Constructor.

Para el caso de que el proyectista haya establecido exigencias relativas a la contribución de la estructura a la sostenibilidad y la Propiedad así lo decida, en este Anejo se define un índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (ICES-EA) [Índice de Contribución de la Estructura de Acero a la Sostenibilidad], obtenido a partir del índice de sensibilidad medioambiental de la misma (ISMA-EA) [índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de acero], estableciendo procedimientos para estimarlos cuando así lo decida la Propiedad.

Los criterios mencionados en este Anejo se refieren exclusivamente a actividades relativas a la estructura de acero. Al ser ésta un elemento enmarcado frecuentemente en el conjunto de una obra de mayor envergadura (edificio, nave industrial, puente, etc.), el Autor del Proyecto y la Dirección Facultativa deberán velar,

en su caso, por la coordinación de estos criterios con respecto a los que se adopten para el resto de la obra.

## **A11.2 Criterios generales aplicados a las estructuras de acero**

La estimación de indicadores de sostenibilidad o, en su caso, medioambientales contemplados en esta Instrucción, puede tener como finalidad:

- La comparación entre dos soluciones estructurales para una misma obra, o
- el establecimiento de un parámetro cuantitativo de valoración de la calidad de la estructura en relación con estos aspectos.

En general, una estructura tiene mayor valor a efectos de sostenibilidad cuando compatibiliza las exigencias definidas en el Artículo 5º de esta Instrucción con:

- La optimización del consumo de materiales, empleando menores cantidades de acero,
- la extensión de la vida útil de la estructura, que produce una mayor amortización durante la misma de los posibles impactos producidos en la fase de ejecución,
- el empleo de aceros:
  - que procedan del reciclado de residuos férricos (chatarra),
  - que se obtengan mediante procesos que produzcan menores emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera,
  - que demuestren un aprovechamiento de sus residuos como, por ejemplo, de sus escorias,
  - que provengan de procesos que garanticen el empleo de materias primas férricas no contaminadas radiológicamente.
- la implantación de sistemas voluntarios de certificación medioambiental para los procesos de fabricación de todos los productos empleados en la estructura y, en particular, los de ejecución de la estructura, incluyendo la fabricación en taller, el montaje en obra y su transporte hasta la obra, en su caso,
- el empleo de productos en posesión de distintivos de calidad oficialmente reconocidos que favorezcan la adecuada consecución de las exigencias básicas de las estructuras con el menor grado de incertidumbre posible,
- el cumplimiento de criterios preventivos adicionales a los requisitos establecidos por la reglamentación vigente que sea aplicable en materia de seguridad y salud de las obras,
- la aplicación de criterios innovadores que aumenten la productividad, la competitividad y la eficiencia de las construcciones, así como la accesibilidad del usuario a las mismas,

- la minimización de los impactos potenciales sobre el entorno, derivados de la ejecución de la estructura (ruido, partículas, etc.), y
- en general, el menor empleo posible de recursos naturales.

### **A11.3 Método general de consideración de criterios de sostenibilidad**

La consideración de criterios de sostenibilidad en una estructura de acero será decidido por la Propiedad que deberá además:

- Comunicarlo al Autor del Proyecto para que incorpore las correspondientes medidas durante la redacción del mismo,
- considerarlo en el encargo de la ejecución,
- controlar el cumplimiento por parte del Constructor de los criterios durante la ejecución, y
- velar porque se transmitan a los usuarios, en su caso, los criterios adecuados de mantenimiento.

La Propiedad, en su caso, deberá comunicar al Autor del Proyecto el criterio de sensibilidad que, de acuerdo con el apartado A11.5 de este Anejo, deberá cumplir la estructura. Se considera que una estructura de acero cumple el criterio definido por la Propiedad cuando, según el caso, se cumplan las siguientes condiciones:

$$ICES-EA_{propiedad} \leq ICES-EA_{proyecto} \leq ICES-EA_{ejecución}$$

donde:

- Propiedad Indica que el índice ICES-EA es el definido por la Propiedad en el encargo.
- Proyecto Indica que el índice es el establecido por el Autor del Proyecto.
- Ejecución Indica que es el índice que se ha obtenido como consecuencia del control de las condiciones reales en las que se ha ejecutado la estructura, de acuerdo con el Artículo 91º de la Instrucción.

### **A11.4 Índice de sensibilidad medioambiental de la estructura de acero (ISMA-EA)**

#### **A11.4.1 Definición del índice de sensibilidad medioambiental**

Se define como “índice de sensibilidad medioambiental” de una estructura al resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$ISMA - EA = \sum_{i=1}^{i=6} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i$$

siendo:

$\alpha_i, \beta_i$  y  $\gamma_i$  Coeficientes de ponderación de cada requerimiento, criterio, o indicador de acuerdo con la tabla A11.4.1.a.

$V_i$  Coeficientes de valor obtenidos para cada criterio, de acuerdo con la siguiente expresión en función del parámetro representativo en cada caso.

$$V_i = K_i \left[ 1 - e^{-m_i \left( \frac{P_i}{A_i} \right)^{n_i}} \right]$$

siendo:

$K_i, m_i, n_i$  y  $A_i$  Parámetros cuyos valores dependen de cada indicador, de acuerdo con la tabla A11.4.1.b.

$P_i$  Valor que toma la función representativa para cada indicador, de acuerdo con lo señalado en el apartado A11.4.3 de este Anejo.

Tabla A11.4.1.a. Coeficientes de ponderación

Requerimiento medioambiental	Coeficiente de ponderación		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Características medioambientales de los productos de acero	0,70	0,40	1
Optimización de la ejecución		0,40	0,5
Nivel de control de la ejecución			0,5
Optimización medioambiental del acero		0,20	1
Medidas específicas para control de los impactos	0,30	0,33	1
Medidas específicas para gestionar los residuos		0,67	1

Tabla A11.4.1.b

Requerimiento medioambiental	<i>Ki</i>	<i>mi</i>	<i>ni</i>	<i>Ai</i>
Características medioambientales de los productos de acero	1,02	-0,50	50	3,00
Optimización de la ejecución	1,06	-0,45	35	2,50
Nivel de control de la ejecución	1,05	-1,80	40	1,20
Optimización medioambiental del acero	10,5	-0,001	1	1,00
Medidas específicas para control de los impactos	10,5	-0,001	1	1,00
Medidas específicas para gestionar los residuos	1,21	-0,40	40	1,60

### **A11.4.2 Clasificación medioambiental de las instalaciones**

A los efectos de esta Instrucción, se entiende que una instalación presenta un distintivo de carácter medioambiental cuando esté en posesión de un distintivo de calidad conforme a la UNE-EN ISO 14001 o un EMAS.

Aún no estando en posesión de un distintivo de carácter medioambiental, se considera que la instalación tiene compromiso ambiental a los efectos de esta Instrucción cuando cumpla las siguientes circunstancias:

a) En el caso de una Instalación de fabricación en taller:

- Disponen de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, de acuerdo con el Artículo 84º de esta Instrucción,
- emplean productos de acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- controlan y registran los procesos de gestión o reciclado de residuos (por ejemplo mediante uso de contenedores, planes de gestión de residuos, etc.)

b) En el caso de la empresa de ejecución en obra:

- emplean productos de acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido,
- controlan y registran los procesos de gestión o reciclado de residuos (por ejemplo mediante uso de contenedores, planes de gestión de residuos, etc.)
- disponen de zonas delimitadas para el acopio de los productos,
- adoptan medidas para disminuir la emisión del ruido provocado por los procesos desarrollados para la ejecución de la estructura.

c) En el caso de la empresa constructora, en relación con el montaje en obra:

- Acumulan los residuos en contenedores independientes para su reciclaje y gestión,
- disponen de zonas delimitadas para el acopio de los productos.
- adoptan medidas para disminuir la emisión del ruido provocado por los procesos desarrollados para la ejecución de la estructura.

### **A11.4.3 Criterios medioambientales y funciones representativas**

#### A11.4.3.1 Criterio medioambiental de caracterización de los productos de acero

Este criterio valora la sensibilidad medioambiental de la fabricación de los productos de acero. Tiene como objetivos disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la fabricación del acero y disminuir la cantidad de residuos procedentes de la fabricación de los productos de acero.

$$R_1 = \frac{1}{100} \frac{A}{100} \sum_{i=1}^{i=B} p_{1i} \cdot \lambda_{1i}$$

donde:

- $\lambda_{1i}$  Valores obtenidos de la tabla A11.4.3.1.
- A Porcentaje de productos de acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- $p_{1i}$  Porcentaje de utilización en la obra de cada acero identificado en la tabla A11.4.3.1.

Tabla A11.4.3.1

Condición medioambiental	De acuerdo con / mediante	Coefficiente de valor ( $\lambda_{1i}$ )
Sin certificación	No se aplica la norma ISO 14001 ni el sistema EMAS, o el producto no está certificado mediante una marca voluntaria de calidad con distintivo oficialmente reconocido, o el certificado de producto no acredita que dicho acero está sometido a las exigencias del Protocolo de Kioto.	0
Con producción sometida a certificación de carácter medioambiental	Norma ISO 14001.	10
	Norma ISO 14001 y registro EMAS o registro EMAS sin norma ISO 14001.	40
	El acero acredita mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido que su producción está sometida a las exigencias del protocolo de Kyoto.	60

#### A11.4.3.2 Criterio medioambiental de optimización de la ejecución

Este criterio valora la sensibilidad medioambiental con la que se desarrollan los procesos para la fabricación en taller de las estructuras, así como los procedimientos de montaje en obra. Tiene como objetivos los siguientes:

- Disminuir la cantidad de los residuos procedentes de la fabricación,
- fomentar la optimización de elementos y el reciclaje de aquellos residuos cuyag eneración sea inevitable, y
- disminuir los impactos durante el montaje en obra.

La función representativa de este criterio viene definida por:

$$R_2 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{2i} \cdot \lambda_{2i}$$

donde  $p_{2i}$  es el porcentaje que representa cada una de las posibles procedencias de los elementos que se colocan en la obra y  $\lambda_{2i}$  es la suma de los valores que sean aplicables según las condiciones medioambientales de las instalaciones, para la correspondiente columna de la tabla A11.4.3.2.

Tabla A.11.4.3.2

Instalación	Condición medioambiental	Coeficientes ( $\lambda_{2i}$ )	
		Caso 1: Instalación de fabricación en taller	Caso 2: Instalación de ejecución en obra
		$\lambda_{21}$	$\lambda_{22}$
Instalación de fabricación en taller	Con distintivo medioambiental	80	-
	Con compromiso medioambiental	60	-
	Otros casos	30	-
Instalación de ejecución en obra	Con distintivo medioambiental	-	70
	Con compromiso medioambiental	-	30
	Otros casos	-	0
Empresa constructora	Con distintivo medioambiental	20	30
	Con compromiso medioambiental	10	15
	Otros casos	0	0

Los valores de la tabla anterior se corresponden con una distancia máxima de transporte de 300 km para los elementos fabricados en taller. En el caso de que dicha distancia fuera mayor, el valor del coeficiente  $\lambda_{21}$  correspondiente a la Instalación de fabricación en taller se reducirá en 5 y el correspondiente a la empresa constructora se aumentará en 5, salvo en la fila correspondiente a "Otros casos" que seguirá siendo 0.

#### A11.4.3.3 Criterio medioambiental de sistemática del control de ejecución

Este criterio valora la contribución medioambiental asociada a la disminución de los recursos consumidos para la elaboración de la estructura, como consecuencia de un nivel de control de ejecución intenso y del empleo de productos en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.

La función representativa de este criterio viene definida por:

$$R_3 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{3i} \cdot \lambda_{3i}$$

donde  $p_{3i}$  es el porcentaje de utilización en la obra de cada uno de los casos que se definen en la tabla A11.4.3.3 y  $\lambda_{3i}$  es el coeficiente reflejado en la misma para cada caso.

Tabla A11.4.3.3

Subcriterio	Coficiente de valor ( $\lambda_{3i}$ )
No se aplica disminución de $\gamma_M$ , de acuerdo con el apartado 15.3	$\lambda_{31}=0$
Se aplica disminución de $\gamma_M$ , de acuerdo con el apartado 15.3	$\lambda_{32}=100$

#### A11.4.3.4 Criterio medioambiental de optimización del acero

Este criterio valora la contribución medioambiental asociada al reciclado de residuos férricos (chatarra) así como el aprovechamiento de los subproductos producidos en el proceso.

La función representativa de este criterio viene definida por:

$$R_4 = \frac{1}{100} \frac{A}{100} \sum_{i=1}^{i=2} p_{4i} \cdot \lambda_{4i}$$

donde:

- $\lambda_{4i}$  Valores obtenidos de la tabla A11.4.3.4.
- A Porcentaje de acero en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido.
- $p_{4i}$  Porcentaje de utilización en la obra de cada acero identificado en la tabla A11.4.3.4.

Tabla A11.4.3.4

Optimización de recursos en la fabricación del acero	Coefficientes ( $\lambda_{4i}$ )
El acero acredita mediante la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, que su producción procede del reciclado de chatarra, al menos en un 80%.	$\lambda_{41}=45$
El acero acredita mediante posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido que realiza un aprovechamiento de sus escorias superior al 50%.	$\lambda_{42}=25$
El acero acredita mediante posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido que, tanto las materias primas férricas utilizadas en el siderurgia, como los productos de acero, se han sometido a controles de emisión radiológicos verificables y documentados.	$\lambda_{43}=30$

#### A11.4.3.5 Criterio medioambiental de control de los impactos

Este criterio valora la contribución medioambiental asociada a una ejecución de la estructura que minimice los impactos sobre el medio ambiente y en particular, la emisión de partículas y gases al aire.

La función representativa de este criterio viene definida por

$$P_5 = \sum_{i=1}^{i=2} p_{5i} \cdot \lambda_{5i}$$

donde  $p_{5i}$  y  $\lambda_{5i}$  son los parámetros obtenidos de la tabla A11.4.3.5.

Tabla A11.4.3.5

Subcriterio	$p_{5i}$	$\lambda_{5i}$
No se realiza pintado en obra	1	50
No se realiza soldadura en obra	1	50

#### A11.4.3.6 Criterio medioambiental de gestión de los residuos

Este criterio valora la contribución medioambiental asociada a una ejecución de la estructura que gestione adecuadamente los residuos generados durante dicho proceso. En particular, se tiene en cuenta la existencia de un plan de gestión de los materiales de excavación, de un plan de gestión de los residuos de construcción y demolición-

La función representativa de este criterio viene definida por:

$$P_6 = \lambda_6$$

donde  $\lambda_{6i}$  son los valores obtenidos de la tabla A11.4.3.6.

Tabla A11.4.3.6

Subcriterio	Casuística		$\lambda_6$
Gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD).	Ninguna acción controlada		0
	Reciclar un porcentaje, indicado en la columna siguiente, y el resto a vertedero.	20%	20
		40%	40
		60%	60
		80%	80
		100%	100

### A11.5 Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad

Se define como “índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad” (ICES-EA) al resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$\text{ICES-EA} = a + b \cdot \text{ISMA-EA}$$

debiendo cumplirse, además, que:

$$\text{ICES-EA} \leq 1$$

$$\text{ICES-EA} \leq 2 \cdot \text{ISMA-EA}$$

ICES-EA es el mínimo de:

- 1)  $a + b \cdot \text{ISMA-EA}$
- 2) 1
- 3)  $2 \cdot \text{ISMA-EA}$

donde:

$a$  Coeficiente de contribución social, obtenido como suma de los coeficientes indicados en la tabla A11.5, según los subcriterios que sean aplicables:

$$a = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i$$

Tabla A.11.5

Subcriterio	En proyecto	En ejecución
El Constructor aplica métodos innovadores que sean resultados de proyectos de I+D+i realizados en los últimos 3 años.	$a_1 = 0$	$a_1 = 0,02$
Al menos el 30% del personal que trabaja en la ejecución de la estructura ha tenido cursos de formación específica en aspectos técnicos, de calidad o medioambientales.	$a_2 = 0$	$a_2 = 0,02$
Se adoptan medidas voluntarias de seguridad y salud adicionales a las establecidas reglamentariamente para la ejecución de la estructura.	$a_3 = 0$	$a_3 = 0,04$
Se elabora una página web pública y específica para la obra al objeto de informar al ciudadano, incluyendo sus características y plazos de ejecución, así como sus implicaciones económicas y sociales.	$a_4 = 0,01$	$a_4 = 0,02$
Se trata de una estructura incluida en una obra declarada como de interés general por la Administración Pública competente.	$a_5 = 0,04$	$a_5 = 0,04$

- b Coeficiente de contribución por extensión de la vida útil, obtenido de acuerdo con la siguiente expresión:

$$b = \frac{t_g}{t_{g,\min}} \leq 1,25$$

b es el mínimo de:

- 1)  $\frac{t_g}{t_{g,\min}}$
- 2) 1,25

siendo:

$t_g$  Vida útil realmente contemplada en el proyecto para la estructura, dentro de los rangos contemplados en el artículo 5 de la Instrucción, y

$t_{g,\min}$  valor de la vida útil establecido en el apartado 5.1 de la Instrucción para el correspondiente tipo de estructura.

A partir del ICES-EA, puede clasificarse la contribución de la estructura a la sostenibilidad de acuerdo con los siguientes niveles:

Nivel A:  $0,81 \leq \text{ICES-EA} \leq 1,00$

Nivel B:  $0,61 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,80$

Nivel C:  $0,41 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,60$

Nivel D:  $0,21 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,40$

Nivel E:  $0,00 \leq \text{ICES-EA} \leq 0,20$

donde A es el extremo máximo de la escala (máxima contribución a la sostenibilidad) y E es el extremo mínimo de la misma (mínima contribución a la sostenibilidad).

## **A11.6 Comprobación de los criterios de contribución a la sostenibilidad**

### ***A11.6.1 Evaluación del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad en el proyecto***

En el caso de que la Propiedad decida aplicar criterios de sostenibilidad para la estructura, el Autor del Proyecto deberá definir en el mismo una estrategia para conseguirlos, evaluando el valor de proyecto del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad ( $\text{ICES-EA}_{\text{proyecto}}$ ) e identificando los criterios, o subcriterios en su caso, que deben cumplirse para la consecución del valor establecido.

Para la evaluación del índice  $\text{ICES-EA}_{\text{proyecto}}$  se adoptarán  $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ .

Además, el Autor del Proyecto deberá reflejar las medidas necesarias a tener en cuenta durante la ejecución de la estructura en los correspondientes documentos y, en particular, en la memoria, en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y en el presupuesto.

### ***A11.6.2 Evaluación del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad real de la ejecución***

En el caso de que la Propiedad haya decidido aplicar criterios de sostenibilidad para la estructura, la Dirección Facultativa deberá controlar, directamente o a través de una entidad de control de calidad, que el valor real del índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad como consecuencia de las condiciones reales de su ejecución ( $\text{ICES-EA}_{\text{ejecución}}$ ) no es inferior al valor del referido índice definido en el proyecto.

Los documentos acreditativos de la valoración final del  $\text{ICES-EA}_{\text{ejecución}}$  formarán parte de la documentación final de obra.