Anejo 27

Proyecto de estructuras de acero. Fatiga

Contenido

1 GENERALIDADES 1508

1.1 ALCANCE 1508
1.2 NORMATIVA DE REFERENCIA 1508
1.3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES 1508
1.3.1 Generalidades 1508
1.3.1.1 Fatiga 1508
1.3.1.2 Tensión nominal 1508
1.3.1.3 Tensión nominal modificada 1509
1.3.1.4 Tensión geométrica (tensión de punto caliente) 1509
1.3.1.5 Tensión residual 1509
1.3.2 Parámetros de las cargas de fatiga 1509
1.3.2.1 Proceso de carga 1509
1.3.2.2 Historia de tensiones 1509
1.3.2.3 Método de la gota de agua 1509
1.3.2.4 Método de vaciado del depósito 1509
1.3.2.5 Rango de tensiones 1509
1.3.2.6 Espectro de respuesta de un rango de tensiones 1509
1.3.2.7 Espectro de cálculo 1510
1.3.2.8 Vida útil 1510
1.3.2.9 Vida de fatiga 1510
1.3.2.10 Sumatorio de Miner 1510
1.3.2.11 Rango de tensiones de amplitud constante equivalente 1510
1.3.2.12 Carga de fatiga 1510
1.3.2.13 Carga de fatiga de amplitud constante equivalente 1510
1.3.3 Resistencia a la fatiga 1510
1.3.3.1 Curva de resistencia a fatiga 1510
1.3.3.2 Categoría de detalle 1511
1.3.3.3 Fatiga límite sometida a amplitud constante 1511
1.3.3.4 Umbral de daño 1511
1.3.3.5 Número de ciclos 1511
1.3.3.6 Resistencia de referencia a fatiga 1511
1.4 NOTACIONES 1511

2 REQUISITOS BÁSICOS Y METODOLOGÍA 1512

3 MÉTODOS DE ANÁLISIS 1512

4 TENSIONES DEBIDAS A ACCIONES DE FATIGA 1513

5 CÁLCULO DE TENSIONES 1514

6 CÁLCULO DE LOS RANGOS DE TENSIONES 1515

6.1 GENERALIDADES 1515
6.2 VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO DE TENSIONES NOMINALES 1516
6.3 VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO MODIFICADO DE TENSIONES NOMINALES 1516
6.4 VALOR DE CÁLCULO DEL RANGO DE TENSIÓN PARA UNIONES SOLDADAS DE LAS SECCIONES HUECAS 1516
6.5 VALOR DE CÁLCULO DE LOS RANGOS DE TENSIONES GEOMÉTRICAS (PUNTO CALIENTE) 1516

7 RESISTENCIA A FATIGA 1517

7.1 GENERALIDADES 1517
7.2 MODIFICACIONES DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA 1519

7.2.1 Detalles en compresión sin soldaduras o con soldaduras sometidas a tratamiento de relajación de tensiones1519
7.2.2 Efecto del tamaño 1519

8 COMPROBACIÓN A FATIGA 1520

APÉNDICE A RECOMENDACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CARGAS DE FATIGA Y MÉTODOS DE COMPROBACIÓN 1537

A.1 DETERMINACIÓN DE LOS PROCESOS DE CARGAS 1537
A.2 HISTORIAL DE TENSIONES PARA LOS DETALLES 1537
A.3 RECUENTO DE CICLOS 1537
A.4 ESPECTRO DEL RANGO DE TENSIONES 1537
A.5 CICLOS PARA LA ROTURA 1537
A.6 FORMATOS DE COMPROBACIÓN 1538
A.7 CÁLCULO DE LAS CARRERAS DE TENSIONES 1539

APÉNDICE B RECOMENDACIONES PARA LA RESISTENCIA A FATIGA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LAS TENSIONES GEOMÉTRICAS (PUNTO CALIENTE) 1542

1 Generalidades

1.1 Alcance

(1) Este anejo especifica los métodos para el análisis de la resistencia a fatiga de los elementos estructurales, conexiones y las uniones sometidas a cargas de fatiga.

(2) Estos métodos se basan en ensayos a fatiga con probetas a gran escala que incluyen efectos debidos a imperfecciones geométricas y estructurales debidas a la producción y la ejecución del material (por ejemplo los efectos de las tolerancias y tensiones residuales procedentes de la soldadura).

NOTA 1: Para tolerancias, véase Anejo 16 del Código Estructural.

(3) Las reglas son aplicables a estructuras cuya ejecución sea conforme con el Capítulo 21 del Código Estructural.

NOTA: Cuando corresponda, se indicarán los requisitos complementarios en las tablas de las categorías de detalle.

(4) Los métodos de evaluación establecidos en este anejo son aplicables a todas las calidades de aceros estructurales, aceros inoxidables y aceros pasivados no protegidos excepto cuando se indique lo contrario en las tablas de categorías de detalle. Este anejo se aplica únicamente a materiales que cumplan con los requisitos de tenacidad del Anejo 28 del Código Estructural.

(5) Los métodos de evaluación a la fatiga distintos de los métodos de la curva $\Delta\sigma_R - N$, como los métodos de la deformación del entallado o de la mecánica de fractura no se consideran en este anejo.

(6) En este anejo no se consideran tratamientos posteriores a la fabricación de mejora de la resistencia a fatiga distintos de la relajación de tensiones.

(7) Las resistencias a fatiga especificadas en este anejo se aplican a estructuras que trabajan bajo condiciones atmosféricas normales, con la suficiente protección a la corrosión y un mantenimiento regular. No se cubren los efectos de la corrosión por agua salada. Tampoco se cubren los daños microestructurales producidos por altas temperaturas (>150ºC).

1.2 Normativa de referencia

Las normas citadas en este anejo deben utilizarse en la versión indicada en el Anejo 1 del Código Estructural.

1.3 Términos y definiciones

(1) Este anejo aplica las siguientes definiciones y términos.

1.3.1 Generalidades

1.3.1.1 Fatiga

Proceso de iniciación y propagación de fisuras a través de un elemento estructural debido a la acción de una variación cíclica de tensiones.

1.3.1.2 Tensión nominal

La tensión en el material base o en una soldadura adyacente a una fisura potencial, calculada acorde con la teoría de la elasticidad excluyendo los efectos de concentración de tensiones.

NOTA: La tensión nominal especificada en esta parte puede ser una tensión normal, tangencial, principal o equivalente.

1.3.1.3 Tensión nominal modificada

La tensión nominal multiplicada por un coeficiente correspondiente de concentración tensional k_f para considerar el efecto de una discontinuidad geométrica que no se ha tenido en cuenta dentro de la clasificación de un detalle constructivo en particular.

1.3.1.4 Tensión geométrica (tensión de punto caliente)

La máxima tensión principal en el material base adyacente al cordón de soldadura, teniendo en cuenta los efectos de concentración de las tensiones debidos a toda la geometría de un detalle constructivo en particular.

NOTA: Los efectos de concentración local de tensiones, por ejemplo las soldaduras en forma de perfil (incluido en las categorías de detalle descritas en el Apéndice B) no necesitan considerarse.

1.3.1.5 Tensión residual

Una tensión residual consiste en un estado permanente de tensiones en una estructura la cual se encuentra en equilibrio estático y es independiente de la acción aplicada. Las tensiones residuales pueden surgir de la laminación, procesos de corte, contracciones debidas a la soldadura o a la falta de ajuste entre elementos estructurales o por plastificaciones parciales provocadas por cualquier sobrecarga.

1.3.2 Parámetros de las cargas de fatiga

1.3.2.1 Proceso de carga

Secuencia de cargas definidas aplicadas sobre la estructura provocando un historial de cargas, normalmente repetidas un número definido de veces en la vida de la estructura.

1.3.2.2 Historia de tensiones

Registro o cálculo de la variación tensional de un punto particular de la estructura durante un proceso de carga.

1.3.2.3 Método de la gota de agua

Es un método particular de recuento de ciclos para producir el espectro de un rango de tensiones para un historial de tensiones dado.

1.3.2.4 Método de vaciado del depósito

Es un método particular de recuento de ciclos para producir el espectro de un rango de tensiones para un historial de tensiones dado.

NOTA: Para la determinación matemática véase el Apéndice A.

1.3.2.5 Rango de tensiones

La diferencia algebraica entre los dos extremos de una carga cíclica particular derivada de una historia de tensiones.

1.3.2.6 Espectro de respuesta de un rango de tensiones

Histograma del número de sucesos para todos los rangos de tensiones de diferentes magnitudes recopiladas o calculadas para un evento de carga particular.

1.3.2.7 Espectro de cálculo

El total de todos los espectros de un rango de tensiones en la vida útil de la estructura correspondiente a la fatiga evaluada.

1.3.2.8 Vida útil

El periodo de tiempo de referencia en el que la seguridad de una estructura es requerida con una probabilidad aceptable de que no ocurra la rotura por fisuración debido a la fatiga.

1.3.2.9 Vida de fatiga

El periodo de tiempo estimado que causa la rotura o fallo por fatiga bajo la aplicación del espectro de cálculo.

1.3.2.10 Sumatorio de Miner

Se refiere al cálculo lineal del daño acumulado basado en la regla de Palmgren-Miner.

1.3.2.11 Rango de tensiones de amplitud constante equivalente

El rango de tensiones de amplitud constante que deberá resultar en la misma vida de fatiga que para la del espectro de cálculo, cuando la comparación se basa en el sumatorio de Miner.

NOTA: Para la determinación matemática véase el Apéndice A.

1.3.2.12 Carga de fatiga

Una serie de parámetros de acciones basados en procesos típicos de cargas definidos por la posición de dichas cargas, sus magnitudes, frecuencias, secuencias y desfases.

NOTA 1: Las acciones de fatiga definidas en la reglamentación específica vigente serán valores extremos superiores basados en evaluaciones de medidas de efectos de cargas acordes con el Apéndice A.

NOTA 2: La reglamentación específica proporciona también los parámetros de cálculo:

- Q_{max}, n_{max} espectro normalizado o
- $Q_{E,n_{max}}$ relativo a n_{max} o
- $Q_{E,2}$ correspondientes a $\mathrm{n} = 2\mathrm{x}10^6$ ciclos

Los efectos dinámicos se incluyen en estos parámetros a menos que se indique lo contrario.

1.3.2.13 Carga de fatiga de amplitud constante equivalente

Carga a amplitud constante simplificada que produce los mismos efectos de daño causados por una serie de procesos de carga real de amplitud variable.

1.3.3 Resistencia a la fatiga

1.3.3.1 Curva de resistencia a fatiga

La relación cuantitativa entre el rango de tensiones y el número de ciclos de tensiones para el fallo por fatiga, empleado para valorar la categoría de detalle de un determinado detalle constructivo.

NOTA: La resistencia a fatiga dada en esta parte son valores extremos inferiores basados en la evaluación de los ensayos por fatiga con probetas a gran escala acordes con el Apéndice D del Anejo 18 del Código Estructural.

1.3.3.2 Categoría de detalle

La designación numérica dada por un detalle constructivo para una dirección dada de una fluctuación de tensiones, para indicar cuál es la curva de resistencia a la fatiga aplicable a la fatiga evaluada (el número de categoría de detalle indica la resistencia a fatiga de referencia $\Delta\sigma_c$ en N/mm^2).

1.3.3.3 Fatiga límite sometida a amplitud constante

Valor límite por debajo del cual el rango de tensiones normales o tangenciales no producen daños por la fatiga en ensayos de condiciones de amplitud de tensiones constante. Bajo condiciones de amplitud variable, todos los rangos de tensiones tienen que estar por debajo de este límite para que no ocurran daños por fatiga.

1.3.3.4 Umbral de daño

Límite por debajo del cual el rango de tensiones del espectro de cálculo no contribuye a incrementar el daño acumulado de cálculo.

1.3.3.5 Número de ciclos

Duración de la vida de una estructura, expresada en ciclos, bajo la acción de un historial de cargas de amplitud constante.

1.3.3.6 Resistencia de referencia a fatiga

El rango de tensiones $\boldsymbol{\Delta\sigma_c}$ de amplitud constante para una categoría de detalle para un número de ciclos $\boldsymbol{N = 2x10^6}$ ciclos.

1.4 Notaciones

$\Delta\sigma$	rango de tensiones (tensión normal)
$\Delta\tau$	rango de tensiones (tensión tangencial)
$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$	rango de tensiones de amplitud constante equivalente relativa a n_{max}
$\Delta\sigma_{E,2}, \Delta\tau_{E,2}$	rango de tensiones de amplitud constante equivalente relativa a 2 millones de ciclos
$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	valor de la resistencia a fatiga para Nc = 2 millones de ciclos
$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$	límite de fatiga para el rango de tensiones de amplitud constante para un número de ciclos N_D
$\Delta\sigma_L, \Delta\tau_L$	umbral de daño para rangos de tensiones con un número de ciclos N_L
$\Delta\sigma_{eq}$	rango de tensiones equivalentes para uniones en el alma de tableros ortótropos
$\Delta\sigma_{C,red}$	valor de referencia reducido de la resistencia a la fatiga
γ_{Ff}	coeficiente parcial de seguridad para rangos de tensiones de amplitud constante equivalentes $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$
γ_{Mf}	coeficiente parcial de seguridad de la resistencia a la fatiga $\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$
m	pendiente de la curva de resistencia a la fatiga
λ_i	coeficientes equivalentes de daño
Ψ_1	coeficiente para un valor frecuente de una acción variable
Q_k	valor característico de una acción variable
k_s	coeficiente de reducción para la tensión de fatiga para tener en cuenta los efectos del tamaño

k_1	coeficiente de mayoración para rangos de tensiones para tener en cuenta el efecto de los momentos flectores secundarios en las celosías
k_f	coeficiente de concentración de tensiones
N_R	número de ciclos de vida útil relativos a la acción repetida de un rango de tensiones constante dado.

2 Requisitos básicos y metodología

(1) Los elementos estructurales deberán dimensionarse a fatiga asegurando un nivel aceptable de probabilidad de funcionamiento durante su vida útil.

NOTA: Se consideran como satisfactorios en estos requisitos las estructuras calculadas empleando acciones de fatiga definidas en la reglamentación específica vigente y con una resistencia a la fatiga acorde con este anejo.

(2) El Apéndice A puede emplearse para determinar un modelo cargado específico, si:

- La reglamentación específica no dispone de un modelo de carga a fatiga,
- se requiere un modelo de carga a fatiga más real.

(3) Los ensayos a fatiga pueden realizarse:

- para determinar la resistencia a la fatiga de detalles no incluidos en este Anejo,
- para determinar la vida útil a fatiga de los prototipos, bajo cargas reales o bajo cargas de fatiga equivalentes de amplitud constante.

(4) Para la ejecución y análisis de los ensayos de fatiga deberán tenerse en cuenta las directrices del Anejo 18 del Código Estructural (véase también el apartado 7.1).

(5) Los métodos para analizar la fatiga dados en este anejo siguen los principios de la comprobación de cálculo comparando las solicitaciones con la resistencia a fatiga; tal comparación es posible únicamente cuando las acciones de fatiga se determinan con parámetros de resistencia a fatiga definidos en este anejo.

(6) Las acciones de fatiga se determinan de acuerdo con los requisitos para la evaluación de la fatiga. Éstos son distintos para las comprobaciones de acciones en estado límite último y estado límite de servicio.

NOTA: El desarrollo de fisuras durante la vida de servicio no significa necesariamente el final de la vida útil. Las roturas deberán repararse con una atención especial en la ejecución para evitar introducción de condiciones más severas en las fisuras.

3 Métodos de análisis

(1) La comprobación a fatiga deberá llevarse a cabo empleando:

- el método de integridad asegurada.

(2) Los planes de inspección y vigilancia deberán especificar:

a) los elementos y detalles estructurales a inspeccionar;

b) las medidas adoptadas para garantizar la viabilidad de las inspecciones;

c) los métodos de inspección y su capacidad de detección de daño;

d) los intervalos entre inspecciones, y

e) las medidas a adoptar en función de los resultados de las inspecciones.

En la medida que sea compatible con su finalidad, los planes de inspección y vigilancia para la comprobación del daño estructural podrán simultanearse con los destinados al mantenimiento y a las comprobaciones de conformidad de la estructura y el montaje con el proyecto.

(3) El método de integridad asegurada deberá garantizar un nivel aceptable de fiabilidad de funcionamiento de la estructura durante su vida útil de proyecto sin necesidad de un plan regular de vigilancia del daño debido a la fatiga. Este método deberá aplicarse en los casos en que la formación local de fisuras en un componente pueda llevar rápidamente al fallo del elemento estructural o de toda la estructura.

(4) En este anejo, puede alcanzarse un nivel aceptable de fiabilidad frente a la fatiga ajustando el coeficiente parcial de seguridad para la resistencia a fatiga γ_{Mf} en función de las consecuencias de la rotura y del método de cálculo empleado.

(5) Los valores de la resistencia a fatiga se determinan considerando los detalles estructurales junto con los efectos de entallas geométricos y metalúrgicos. El lugar más probable de iniciación de la fisura se indica también en el apartado donde se presentan los detalles de la fatiga.

(6) Los métodos de evaluación presentados en este anejo emplean la resistencia a fatiga en términos de curvas de resistencia a fatiga para:

- detalles normalizados aplicables a tensiones nominales;
- configuraciones de soldadura de referencia aplicables a tensiones geométricas.

(7) La fiabilidad requerida puede evaluarse mediante la utilización del método de integridad asegurada, con los valores de γ_{Mf} establecidos de la tabla A27.3.1.

Se considerará que las consecuencias son graves cuando el fallo a fatiga del elemento considerado suponga el colapso de la estructura o de una parte de la misma. Se podrá considerar que las consecuencias son menores cuando un fallo a fatiga del elemento considerado no suponga un fallo estructural, existiendo capacidad de redistribución de las cargas, aun cuando se produzcan deformaciones importantes.

Tabla A27.3.1 Coeficiente parcial de seguridad para resistencia a fatiga

Método de evaluación	Consecuencia del fallo	
	Consecuencia leve	Consecuencia grave
Integridad asegurada	1,15	1,35

4 Tensiones debidas a acciones de fatiga

(1) El modelado de las tensiones nominales deberá considerar todos los efectos de las acciones incluyendo los de la distorsión y deberá basarse en un análisis elástico lineal para los elementos estructurales y para las uniones.

(2) El modelado de grandes vigas en celosía de secciones huecas puede basarse en un modelo de celosía simplificado con nudos articulados. Siempre que se tengan en cuenta las tensiones debidas a las cargas externas aplicadas entre las uniones de los elementos, podrán considerarse los efectos sobre los momentos secundarios debidos a la rigidez de las uniones mediante los coeficientes k_1 (véase la tabla A27.4.1 para secciones circulares huecas y la tabla A27.4.2 para secciones rectangulares huecas; estas secciones están sometidas a las restricciones geométricas de acuerdo con la tabla A27.8.7).

Tabla A27.4.1 Coeficientes k_1 para secciones huecas circulares sometidas a cargas en el plano

Tipo de nudo		Cordones	Montantes	Diagonales
Nudo	tipo K	1,5	-	1,3
	tipo N / KT	1,5	1,8	1,4
Nudo con solape	tipo K	1,5	-	1,2
	tipo N / KT	1,5	1,65	1,25

Tabla A27.4.2 Coeficientes k_1 para secciones huecas rectangulares sometidas a cargas en el plano

Tipo de unión		Cordones	Montantes	Diagonales
Nudo	K tipo	1,5	-	1,3
	N tipo / KT tipo	1,5	2,2	1,6
Nudo con solape	K tipo	1,5	-	1,3
	N tipo / KT tipo	1,5	2,0	1,4

NOTA 1: Para la definición de los tipos de uniones véase el Anejo 26 del Código Estructural.

NOTA 2: Rangos de validez geométrica:

Para secciones circulares huecas (uniones tipo K, N, KT)

$0,30 \leq \beta \leq 0,60$

$1,20 \leq \gamma \leq 30,0$

$0,25 \leq \tau \leq 1,0$

$30^o \leq \theta \leq 60^o$

Para secciones rectangulares huecas (uniones tipo K, N, KT)

$0,40 \leq \beta \leq 0,60$

$6,25 \leq \gamma \leq 12,5$

$0,25 \leq \tau \leq 1,00$

$30^o \leq \theta \leq 60^o$

5 Cálculo de tensiones

(1) Las tensiones deberán calcularse en estado límite de servicio.

(2) Las secciones de Clase 4 se evalúan para cargas de fatiga de acuerdo con el Anejo 25 del Código Estructural.

NOTA 1: Como indicación véase el Anejo 29 del Código Estructural.

(3) Las tensiones nominales deben calcularse en el lugar más susceptible a la iniciación de la fatiga. Los efectos que producen concentración de tensiones en otros detalles distintos a los incluidos en las tablas A27.8.1 a A27.8.10 deberán considerarse mediante un coeficiente de concentración de tensiones (SCF) acorde con 6.3 para dar una tensión nominal modificada.

(4) Cuando se emplea el método de tensión geométrica (punto caliente) para los detalles cubiertos por la tabla A27.B.1, las tensiones deberán calcularse como se muestra en el apartado 6.5.

(5) Las tensiones relevantes en los detalles en un material base son:

- tensiones normales nominales σ,
- tensiones tangenciales nominales τ.

NOTA: Para efectos de tensiones nominales combinadas, véase el apartado 8(3).

(6) Las tensiones relevantes en los cordones de soldadura son (véase la figura A27.5.1):

- tensiones nominales σ_{wf} transversales al eje del cordón: $\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2}$.
- tensiones tangenciales τ_{wf} longitudinales al eje del cordón: $\tau_{wf} = \tau_{||f}$.

Cada una deberá comprobarse por separado.

NOTA: El procedimiento descrito anteriormente es distinto del procedimiento dado para la comprobación de los cordones de soldaduras en estado límite último, definido por el Anejo 26 del Código Estructural.

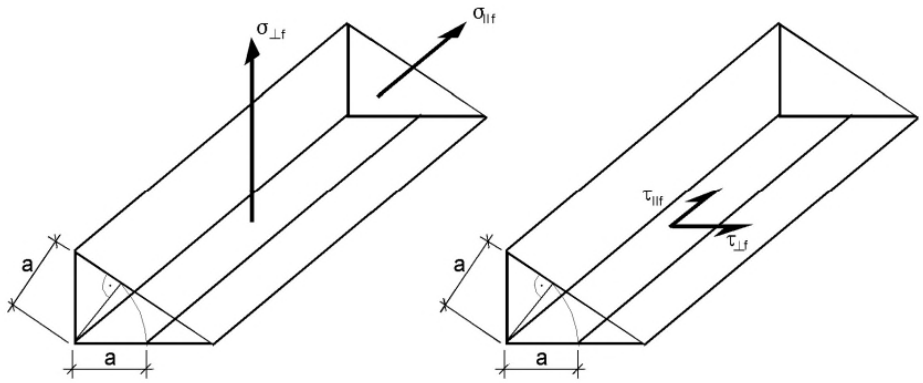


Figura A27.5.1 Tensiones correspondientes a los cordones de soldaduras

6 Cálculo de los rangos de tensiones

6.1 Generalidades

(1) El análisis estructural a fatiga deberá emplear:

- rangos de tensiones nominales para detalles mostrados en la tabla A27.8.1 a la tabla A27.8.10,
- rangos de tensiones nominales modificados cuando, por ejemplo, hay cambios bruscos de sección cerca de un emplazamiento de iniciación de fisura que no se encuentre definido en las tablas A27.8.1 – A27.8.10, o
- rangos de tensiones geométricas donde haya grandes gradientes de tensiones cercanos al pie de una soldadura en uniones de la tabla A27.B.1.

NOTA: Para más categorías de rangos de tensiones geométricas en detalle, véase el Apéndice B.

(2) El valor de cálculo del rango de tensiones a emplear en la evaluación de la fatiga deberá ser el rango de tensiones $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}$ correspondiente a $N_C = 2x10^6$ ciclos.

6.2 Valor de cálculo del rango de tensiones nominales

(1) Los valores de cálculo de los rangos de tensiones nominales $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}$ y $\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2}$ deberán determinarse como sigue:

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2} = \lambda_1 x\ \lambda_2 x\ \lambda_i x \ldots x\ \lambda_n x\ \Delta\sigma(\gamma_{Ff}Q_k)$$

$$\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2} = \lambda_1 x\ \lambda_2 x\ \lambda_i x \ldots x\ \lambda_n x\ \Delta\tau(\gamma_{Ff}Q_k) \quad (6.1)$$

donde:

$\Delta\sigma(\gamma_{Ff}Q_k),\ \Delta\tau(\gamma_{Ff}Q_k)$ es el rango de tensiones producido por las cargas de fatiga especificadas en la reglamentación específica vigente

λ_i son los coeficientes de daño equivalente que dependen del espectro como especifican las partes correspondientes de los Anejos 22 a 29 del Código Estructural.

(2) En los casos en los que no se disponen de datos apropiados de λ_i el valor de cálculo del rango de tensiones nominales puede determinarse mediante los principios del Apéndice A.

6.3 Valor de cálculo del rango modificado de tensiones nominales

(1) El valor de cálculo de los rangos de tensión nominal modificados $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}$ y $\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2}$ deberán determinarse como sigue:

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2} = k_f\ x\ \lambda_1 x\ \lambda_2 x\ \lambda_i x \ldots x\ \lambda_n$$

$$\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2} = k_f\ x\ \lambda_1 x\ \lambda_2 x\ \lambda_i x \ldots x\ \lambda_n x\ \Delta\tau(\gamma_{Ff}Q_k) \quad (6.2)$$

donde:

k_f es el factor de concentración de tensiones para tener en cuenta la mayoración de las tensiones locales en referencia al detalle geométrico no incluido en la curva de referencia $\Delta\sigma_R - N$.

NOTA: Los valores de k_f pueden tomarse de la bibliografía o con cálculos apropiados por elementos finitos.

6.4 Valor de cálculo del rango de tensión para uniones soldadas de las secciones huecas

(1) A menos que se realice un cálculo más preciso de los valores de cálculo de los rangos modificados de tensiones nominales $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}$ deberán determinarse como sigue, mediante el modelo simplificado del apartado 4(2):

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2} = k_1(\gamma_{Ff}\Delta\sigma^*_{E,2}) \quad (6.3)$$

donde:

$\gamma_{Ff}\Delta\sigma^*_{E,2}$ es el valor de cálculo del rango de tensiones calculado con un modelo en celosía simplificado con nudos articulados

k_1 es el coeficiente de mayoración acorde con las tablas A27.4.1 y A27.4.2.

6.5 Valor de cálculo de los rangos de tensiones geométricas (punto caliente)

(1) Los valores de cálculo del rango de tensiones geométricas (punto caliente) $\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}$ deberá determinarse como sigue:

$$\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2} = k_f(\gamma_{Ff}\Delta\sigma^*_{E,2}) \quad (6.4)$$

donde:

k_f es el factor de concentración de tensiones.

7 Resistencia a fatiga

7.1 Generalidades

(1) La resistencia a fatiga en el caso de rangos de tensiones se representa por una serie de curvas $(\log \Delta\sigma) - (\log N)$ y $(\log \Delta\tau) - (\log N)$, (curvas S-N), que corresponden con las categorías de detalles constructivos típicos. Cada categoría de detalle se designa por el número que representa, en N/mm^2, el valor de referencia $\Delta\sigma_C$ y $\Delta\tau_C$ para una resistencia a fatiga de 2 millones de ciclos.

(2) Para las carreras de tensiones nominales de amplitud constante, la resistencia a la fatiga podrá obtenerse como sigue:

$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2x10^6$ con $m = 3$ para $N \leq 5x10^6$, véase la figura A27.7.1,

$\Delta\tau_R^m N_R = \Delta\tau_C^m 2x10^6$ con $m = 5$ para $N \leq 10^8$, véase la figura A27.7.2,

$\Delta\sigma_D = \left(\frac{2}{5}\right)^{1/3} \Delta\sigma_C = 0{,}737\Delta\sigma_C$ es el límite de fatiga con amplitud constante, véase la figura A27.7.1 y

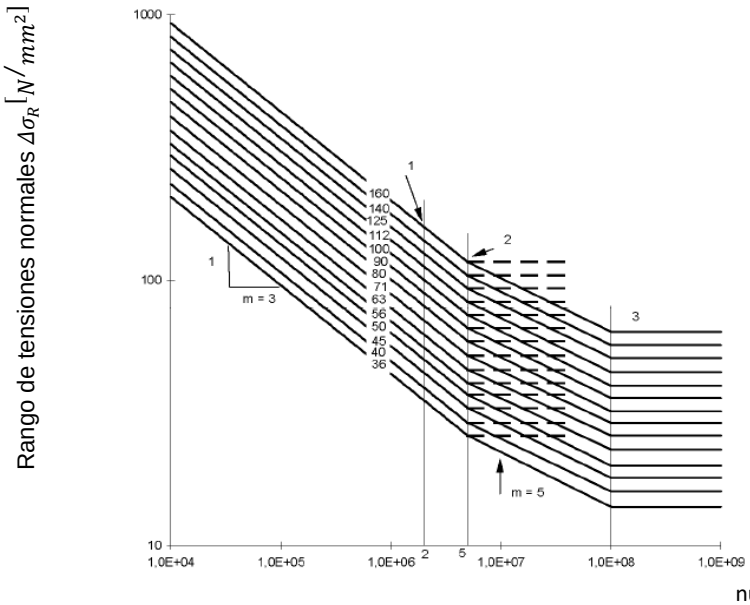
$\Delta\tau_L = \left(\frac{2}{100}\right)^{1/5} \Delta\tau_C = 0{,}457\Delta\tau_C$ es el umbral de daño, véase la figura A27.7.2.

(3) Para espectros de tensiones nominales con rangos de tensiones por encima y por debajo del límite de fatiga de amplitud constante $\Delta\sigma_D$, la resistencia a fatiga deberá basarse en las curvas extendidas de la resistencia a fatiga que se muestran a continuación:

$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2x10^6$ con $m = 3$ para $N \leq 5x10^6$

$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m 5x10^6$ con $m = 5$ para $5x10^6 \leq N \leq 10^8$

$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{1/5} \Delta\sigma_D = 0{,}549\Delta\sigma_D$ es el umbral de daño, véase la figura A27.7.1.



1 Categoría de detalle $\Delta\sigma_c$

2 Límite de fatiga bajo amplitud constante $\Delta\sigma_D$

3 Umbral de daño $\Delta\sigma_L$

Figura A27.7.1 Curvas de resistencia a la fatiga para rangos de tensiones normales

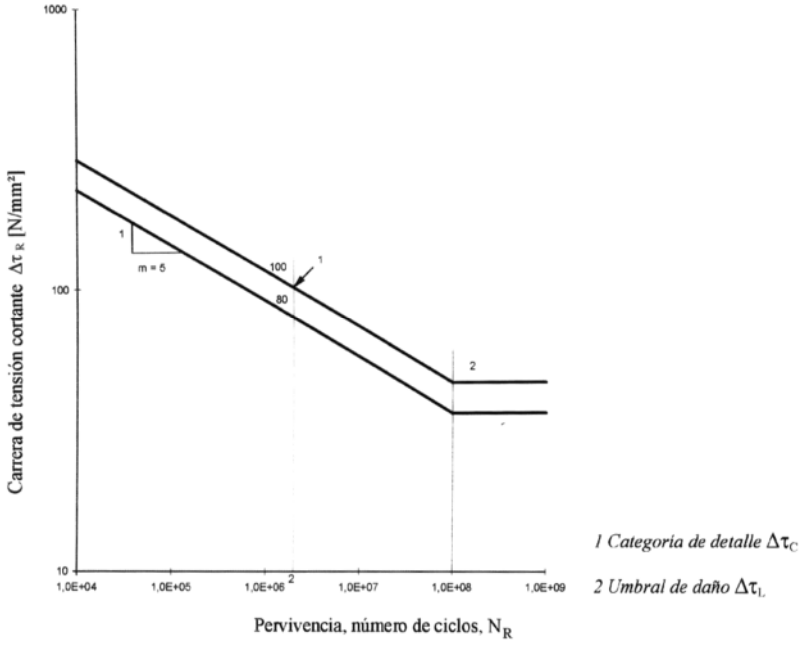


Figura A27.7.2 Curvas de resistencia a la fatiga para carreras de tensión cortante

NOTA 1: Durante el aprovechamiento de los resultados de ensayos para determinar la categoría del detalle constructivo apropiada para un detalle constructivo en particular, el valor del rango de tensión $\Delta\sigma_C$ correspondiente al valor de $N_C = 2$ millones de ciclos se evaluó con un grado de confianza del 75% y un 95% de probabilidad de fallo para una distribución $log\ N$, considerando su desviación típica, el tamaño de las probetas y los efectos de la tensión residual. El número de datos (no menor de 10) se consideró también en el análisis estadístico, véase el Apéndice D del Anejo 18 del Código Estructural.

Es admisible la verificación de una determinada categoría de resistencia a la fatiga para un detalle particular en la medida en que la misma se lleve a cabo de acuerdo con lo especificado en la NOTA 1.

NOTA 3: Los datos de ensayos de algunos detalles constructivos no se ajustan exactamente a las curvas de resistencia a la fatiga de la figura A27.7.1. Para asegurar que se evitan las condiciones no conservadoras, tales detalles, marcados con un asterisco, se clasifican en una categoría de detalle menor que la resistencia a la fatiga que requiere 2 x 10^6 ciclos. Una evaluación alternativa puede mejorar la clasificación de dichos detalles en una categoría de detalle siempre que el límite de la fatiga a amplitud constante $\Delta\sigma_D$ se defina como la resistencia a la fatiga para 10^7 ciclos con m=3 (véase la figura A27.7.3).

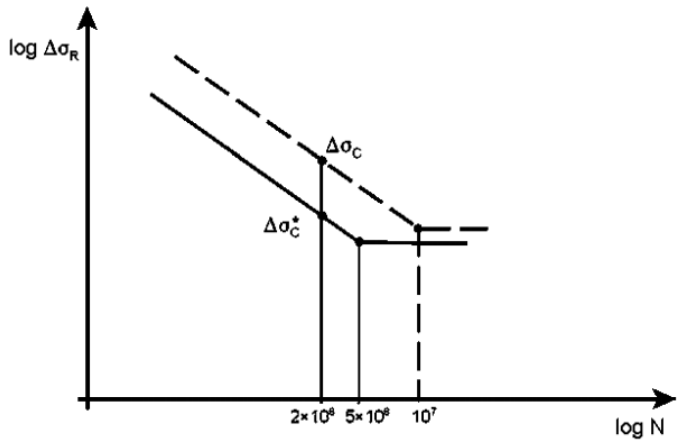


Figura A27.7.3 Resistencia alternativa $\Delta\sigma_C$ para detalles clasificados como $\Delta\sigma_C^*$

(4) Las categorías de detalle $\Delta\sigma_C$ y $\Delta\tau_C$ para tensiones nominales se muestran en:

tabla A27.8.1 para elementos estructurales planos y uniones mecánicas,

tabla A27.8.2 para secciones armadas soldadas,

tabla A27.8.3 para soldaduras a tope transversales,

tabla A27.8.4 cartelas y rigidizadores soldados,

tabla A27.8.5 para uniones trasmisoras de cargas,

tabla A27.8.6 para perfiles huecos,

tabla A27.8.7 para uniones de vigas en celosía,

tabla A27.8.8 para tableros ortótropos con rigidizadores cerrados,

tabla A27.8.9 para tableros ortótropos con rigidizadores abiertos, y

tabla A27.8.10 para la unión ala superior-alma de una viga carril.

(5) Las categorías de resistencia a la fatiga $\Delta\sigma_C$ para los rangos de tensiones geométricas se dan en el Apéndice B.

7.2 Modificaciones de la resistencia a la fatiga

7.2.1 Detalles en compresión sin soldaduras o con soldaduras sometidas a tratamiento de relajación de tensiones

(1) En detalles sin soldaduras o con soldaduras sometidas a tratamiento de relajación de tensiones, la influencia de la tensión media en la resistencia a fatiga puede tenerse en cuenta determinando un rango reducido de tensiones efectivas $\Delta\sigma_{E,2}$ en la evaluación a fatiga cuando parte o todos los ciclos de tensiones sean de compresión.

(2) El rango de tensiones efectivas puede calcularse sumando las tracciones del rango de tensiones y el 60% de las compresiones del rango de tensiones, véase la figura A27.7.4.

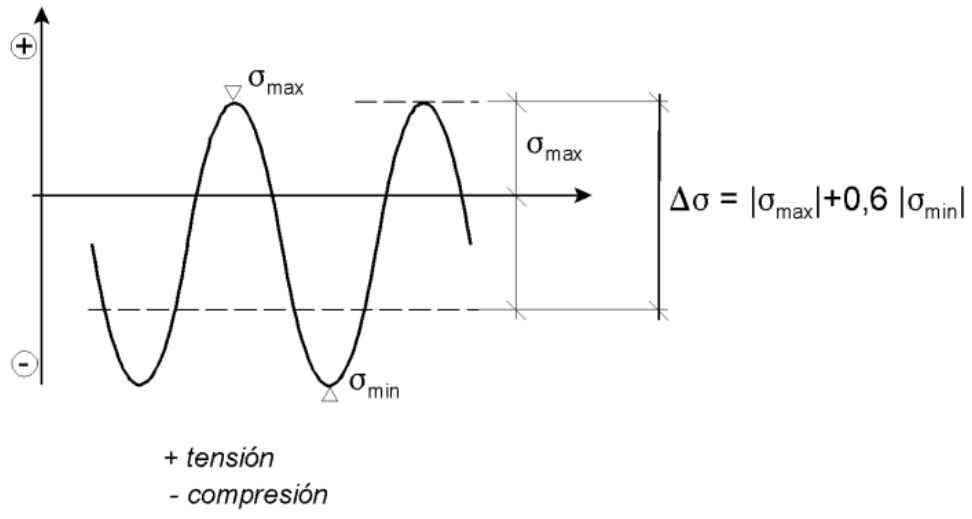


Figura A27.7.4 Rango modificado de tensiones para detalles no soldados o con tensiones relajadas

7.2.2 Efecto del tamaño

(1) El efecto provocado por el tamaño, debido al espesor u otras dimensiones, deberá tenerse en cuenta con los valores dados en las tablas A27.8.1 a A27.8.10. La resistencia a fatiga, por tanto, viene dada por:

$$\Delta\sigma_{C,red} = k_s \Delta\sigma_C \qquad (7.1)$$

8 Comprobación a fatiga

(1) Los rangos de tensiones nominales, rangos modificados de tensiones nominales o rangos de tensiones geométricas debidos a las cargas frecuentes $\Psi_1 Q_k$ (véase el Anejo 18 del Código Estructural) no deberán superar:

$\Delta\sigma \leq 1{,}5 f_y$ para rangos de tensiones normales (8.1)

$\Delta\tau \leq 1{,}5 f_y/\sqrt{3}$ para rangos de tensiones tangenciales.

(2) Para cargas de fatiga deberá comprobarse la condición:

$$\frac{\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}} \leq 1{,}0$$

y (8.2)

$$\frac{\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}} \leq 1{,}0$$

NOTA: Las tablas A27.8.1 a A27.8.9 requieren que los rangos de tensiones se basen en las tensiones principales para algunos detalles constructivos.

(3) Salvo que se indique lo contrario en las categorías de resistencia a fatiga de las tablas A27.8.8 y A27.8.9, en el caso de combinar los rangos de tensiones $\Delta\sigma_{E,2}$ y $\Delta\tau_{E,2}$, deberá comprobarse que:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff}\Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}}\right) \leq 1{,}0 \qquad (8.3)$$

(4) Cuando no se disponga de datos de $\Delta\sigma_{E,2}$ o de $\Delta\tau_{E,2}$ puede emplearse el método de comprobación del Apéndice A.

NOTA 1: El Apéndice A se desarrolla para rangos de tensiones normales. Puede adaptarse también para carreras de tensiones cortantes.

Tabla A27.8.1 Detalles sin uniones o con uniones mecánicas

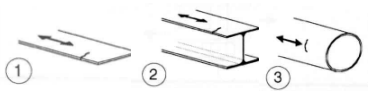
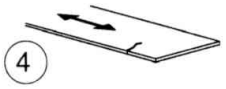
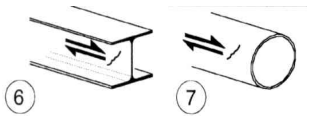
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
160	NOTA: La resistencia a fatiga asociada a la categoría 160 es la más alta. Ningún detalle puede tener mayor resistencia a fatiga para ningún número de ciclos.  	<u>Productos laminados o extruidos:</u> 1) Chapas y productos planos brutos de laminación. 2) Perfiles laminados brutos de laminación. 3) Perfiles huecos sin costura, circulares o rectangulares.	<u>Detalles 1) a 3):</u> Las aristas vivas, los defectos superficiales y de laminación se deberán desbastar hasta su eliminación, dejando transiciones suaves.
140	 	<u>Chapas cizalladas u oxi-cortadas:</u> 4) Material oxicortado o cizallado con posterior saneamiento de bordes.	4) Deberá eliminarse toda traza visible de aristas. Las superficies de corte deberán ser mecanizadas o desbastadas y toda rebaba eliminada. Cualquier marca dejada por la maquinaria empleada, por ejemplo en el desbastado, deberá ser paralela a la dirección de las tensiones. <u>Detalles 4) y 5):</u> - Las esquinas entrantes deberán mejorarse mediante desbaste (pendiente ≤ 1/4) o evaluarse mediante el factor de concentración de tensiones correspondiente. - No se admiten reparaciones mediante relleno con soldadura.
125	 	5) Material oxicortado a máquina con estrías de corte regulares y poco profundas, o a mano con posterior saneamiento de bordes para eliminación de aristas. Máquinas de oxicorte que cumplan las especificaciones de calidad del Anejo 18.	
100 m = 5	 	6) y 7) Productos fabricados por laminación o extrusión, como los de los detalles 1), 2), 3).	<u>Detalles 6) y 7):</u> $\Delta\tau$ calculado mediante: $\tau = \frac{VS(t)}{It}$
Para detalles 1–5 ejecutados en acero con resistencia mejorada a la corrosión debe adoptarse la categoría de detalle inmediatamente inferior.			

Tabla A27.8.1 (cont.) Detalles sin uniones o con uniones mecánicas

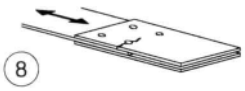
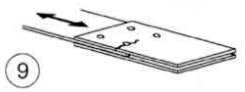
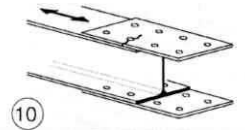
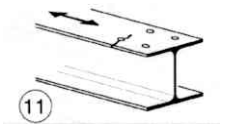
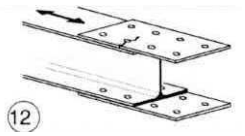
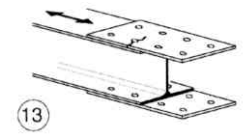
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos	
112		8) Unión simétrica con cubrejuntas a ambos lados y tornillos pretensados de alta resistencia.	8) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección bruta.	<u>En general, para uniones atornilladas (detalles 8 a 13):</u> Distancia a los extremos: $e_1 \geq 1{,}5\ d$ Distancia a los bordes: $e_2 \geq 1{,}5\ d$ Espaciamiento: $p_1 \geq 2{,}5\ d$ $p_2 \geq 2{,}5\ d$ Para los detalles de proyecto véase el Anejo 26, figura A26.3.1.
		8) Unión simétrica con cubrejuntas doble, tornillos pretensados y taladros inyectados.		
90		9) Unión simétrica con cubrejuntas a ambos lados y tornillos calibrados.	9) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección neta.	
		9) Unión simétrica con cubrejuntas doble, taladros sin pretensar e inyectados.		
		10) Unión con cubrejuntas simple y tornillos pretensados de alta resistencia.	10) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección bruta.	
		10) Unión con cubrejuntas simple, taladros pretensados e inyectados.		
		11) Elemento estructural con taladros sometido a flexión compuesta.	11) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección neta.	
80		12) Unión con cubrejuntas simple y tornillos calibrados	12) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección neta.	
		12) Unión con cubrejuntas simple, taladros sin pretensar inyectados.		
50		13) Unión simétrica con cubrejuntas simple o doble, tornillos sin pretensar en agujeros de apertura normal. Sin inversión de carga.	13) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección neta.	

Tabla A27.8.1 (cont.) Detalles sin uniones o con uniones mecánicas

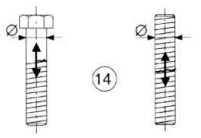
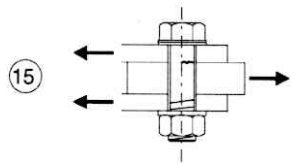
Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
50	Efecto del tamaño ∅> 30 mm $k_s = \left(\frac{30}{\phi}\right)^{1/4}$		14) Tornillos y espárragos traccionados con rosca laminada o mecanizada. Para diámetros grandes (tornillos de anclaje) se tendrá en cuenta el efecto del tamaño mediante el factor k_S.	14) El valor de $\Delta\sigma$ se calculará en las secciones traccionadas del tornillo, teniendo en cuenta los esfuerzos de flexión y tracción por efecto palanca, así como las tensiones de flexión debidas a otras causas. En tornillos pretensados, puede aplicarse la reducción del rango de tensiones.
100 m=5			15) Tornillos sometidos a corte simple o doble sin rosca en las secciones bajo esfuerzo cortante. – Tornillos calibrados. – Tornillos ordinarios sin inversión de carga (tornillos de los grados 5.6, 8.8 o 10.9).	15) Para el cálculo de $\Delta\sigma$ se utilizará la sección del vástago.

Tabla A27.8.2 Secciones armadas soldadas

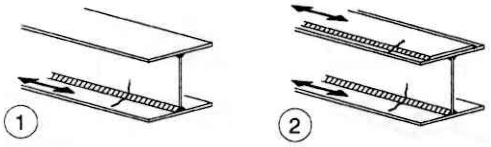
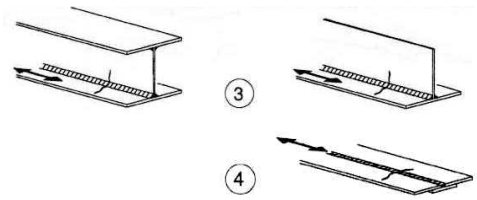
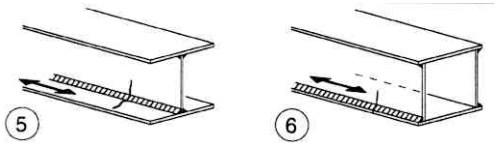
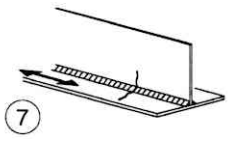
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
125		Cordones longitudinales continuos: 1) Soldaduras a tope con ejecución automática efectuada desde ambos lados. 2) Soldaduras en ángulo con ejecución automática o completamente mecanizada. Los extremos de las platabandas se comprobarán como detalles 6) o 7) de la tabla A27.8.5	<u>Detalles 1) y 2):</u> La soldadura deberá ejecutarse ininterrumpidamente, a menos que se trate de una reparación realizada por especialistas y una inspección compruebe la ejecución adecuada de la reparación.
112		3) Soldaduras a tope o en ángulo con ejecución automática o completamente mecanizada efectuada desde ambos lados, pero interrumpida. 4) Soldaduras a tope con ejecución automática o completamente mecanizada efectuada con chapa dorsal continúa desde un solo lado.	4) La categoría de este detalle es$100\ N/mm^2$ cuando se ejecuta interrumpidamente.
100		5) Soldaduras a tope o en ángulo ejecutadas manualmente. 6) Soldaduras a tope, con ejecución automática o completamente mecanizada o manual desde un solo lado, en particular las de grandes vigas cajón.	5), 6) Es fundamental conseguir un buen ajuste entre las chapas de alma y de ala. Los bordes del alma deben acondicionarse para que la penetración de la soldadura en la raíz de la unión sea regular y continua.
100		7) Reparaciones automáticas o manuales de soldaduras a tope o en ángulo para categorías de detalles 1) a 6).	7) Es posible recuperar la categoría del detalle original con una mejora mediante desbaste por especialistas para eliminar los signos visibles y mediante la posterior comprobación.

Tabla A27.8.2 (cont.) Secciones armadas soldadas

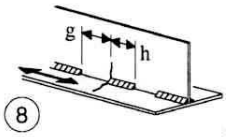
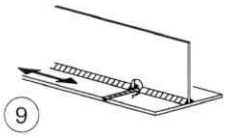
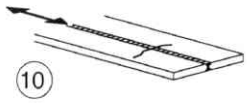
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
80	 $g/h \leq 2{,}5$	8) Soldaduras longitudinales discontinuas en ángulo.	8) Los valores de $\Delta\sigma$ se basarán en las tensiones normales del ala.
71		9) Soldaduras longitudinales, a tope o en ángulo, o soldaduras interrumpidas por groeras de altura no superior a $60\ mm$. Para groeras de altura superior a $60\ mm$, ver el detalle 1) de la tabla A27.8.4.	9) Los valores de $\Delta\sigma$ se basarán en las tensiones normales del ala.
125		10) Soldaduras longitudinales a tope, enrase de ambas caras con muela en la dirección de carga, 100% END.	
112		10) Ejecución ininterrumpida; sin desbaste.	
90		10) Con interrupciones.	
140		11) Soldaduras longitudinales de cierre de perfiles huecos con ejecución automática o completamente mecanizada ininterrumpida.	Espesor de pared $t \leq 12{,}5\ mm$
125		11) Soldaduras longitudinales de cierre de perfiles huecos con ejecución automática o completamente mecanizada ininterrumpida.	11) Espesor de pared $t > 12{,}5\ mm$
90		11) Ejecución con interrupciones.	
Los detalles 1 a 11 ejecutados con soldadura automática y con soldadura mecanizada tienen igual categoría de detalle			

Tabla A27.8.3 Empalmes soldados

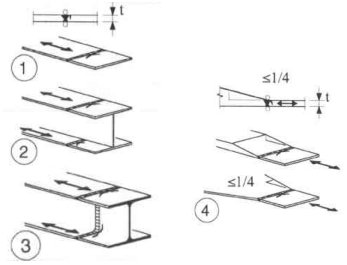
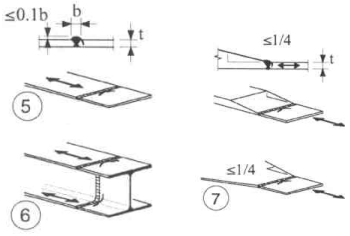
Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
112	Efecto del tamaño para $t > 25\,mm$ $k_s = \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2}$		<u>Sin chapa dorsal:</u> 1) Empalmes en prolongación de chapas y productos planos. 2) Empalmes en prolongación de alas y almas antes del armado de la viga. 3) Soldadura a tope de perfiles laminados en la sección completas sin groeras. 4) Empalmes en prolongación de chapas y productos planos de anchura o espesor rebajado con pendiente $\leq 1/4$.	- Todas las soldaduras enrasadas mediante muela con la superficie de las chapas paralela a la dirección de la flecha del dibujo. - Utilización y posterior retirada de chapas de derrame, bordes de chapa enrasados con muela según dirección de la tensión. - Soldeo desde ambos lados y comprobados por ensayos no destructivos (END). <u>Detalle 3</u>: Solo de aplicación en uniones de perfiles laminados, cortadas y soldadas.
90			5) Empalmes en prolongación de chapas y productos planos. 6) Empalmes en prolongación de perfiles laminados mediante soldadura a tope de secciones completas sin groeras. 7) Empalmes en prolongación de chapas y productos planos de anchura o espesor rebajado con pendiente $\leq 1/4$. Las soldaduras deberán ser mecanizadas para evitar entallas.	- Sobreespesor de cordones inferior al 10% de la anchura con transición gradual al plano de las superficies empalmadas. - Utilización y posterior retirada de chapas de derrame, bordes de chapa enrasados con muela según dirección de la tensión. - Soldeo desde ambos lados y comprobación por ensayos no destructivos (END). <u>Detalles 5 y 7:</u> Soldaduras ejecutadas en posición horizontal.

Tabla A27.8.3 (cont.) Empalmes soldados

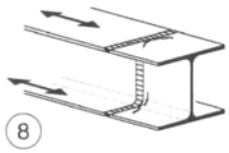
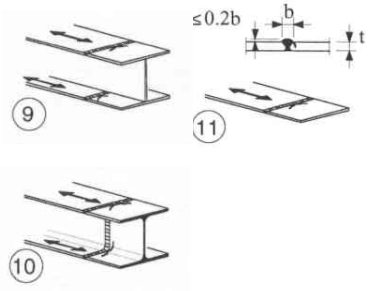
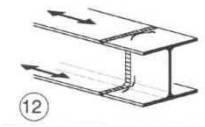
Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
90			8) El detalle 3) con groeras.	- Todas las soldaduras enrasadas mediante muela con la superficie de las chapas paralela a la dirección de la flecha dibujada. - Utilización y posterior retirada de chapas de derrame, bordes de chapa enrasados con muela según dirección de la tensión. - Soldeo desde ambos lados y comprobación por ensayos no destructivos (END). - Perfiles laminados de mismas dimensiones y tolerancias.
80			9) Empalmes en prolongación de vigas armadas sin groeras. 10) Soldadura a tope de secciones laminadas completas con groeras. 11) Empalmes en prolongación de chapas, productos planos, perfiles laminados y chapas de vigas armadas.	- Sobreespesor de cordones inferiores al 20% de la anchura con transición gradual al plano de las superficies empalmadas. - Soldadura sin enrase con muela. - Utilización y posterior retirada de chapas de derrame, bordes de chapa enrasados con muela según dirección de la tensión. - Soldeo desde ambos lados y verificación por ensayos no destructivos (END). <u>Detalle 10</u> Sobre-espesor de cordones inferiores al 10% de la anchura con transición gradual al plano de las superficies empalmadas.
63			12) Soldadura a tope de secciones completas laminadas sin groeras.	- Utilización y posterior retirada de chapas de derrame, bordes de chapa enrasados con muela según dirección de la tensión. -Soldadura por ambos lados

Tabla A27.8.3 (cont.) Empalmes soldados

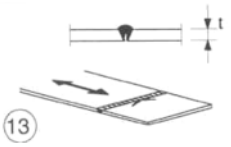
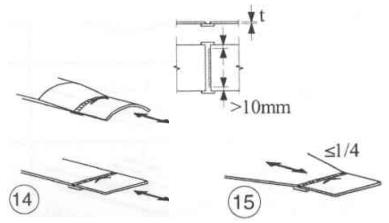
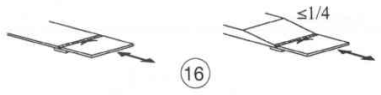
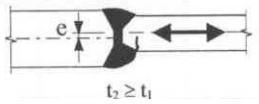
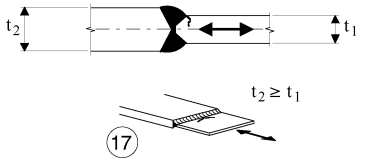
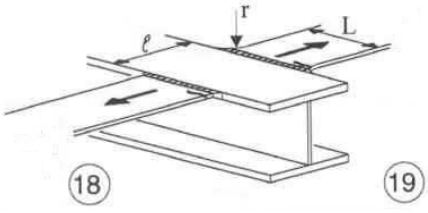
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
36		13) Soldaduras a tope ejecutadas desde un solo lado.	13) Sin chapa dorsal.
71		13) Soldaduras a tope ejecutadas desde un solo lado con penetración total y verificación mediante técnicas END apropiadas.	
71	Efecto del tamaño para $t > 25\ mm$ $k_s = \left(\frac{25}{t}\right)^{0,2}$ 	Con chapa dorsal: 14) Empalmes en prolongación. 15) Empalmes en prolongación de anchura o espesor rebajado con pendiente $\leq 1/4$. También es válido para chapas curvas.	Detalles 14) y 15): Soldaduras en ángulo de unión de la chapa dorsal con extremos distantes más de $10\ mm$ de los bordes de la chapa cargada. Puntos de soldadura aplicados en la zona a ocupar por las soldaduras a tope.
50		16) Empalmes en prolongación con chapa dorsal permanente y anchura o espesor rebajado con pendiente $\leq 1/4$. También es válido para chapas curvas.	16) Si los extremos de las soldaduras en ángulo de la chapa dorsal distan menos de $10\ mm$ de los bordes de la chapa, o si no es posible garantizar un buen ajuste.
71	Efecto del tamaño $para\ t > 25\ mm$ y/o de la excentricidad: $\zeta_s = \left(\frac{25}{t_1}\right)^{0,2} \Big/ \left(1 + \frac{6 \cdot e}{t_1} \cdot \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}}\right)$ 	pendiente $\leq 1/2$ 	17) Empalmes en prolongación con ejes alineados y espesor discontinuo.	
40		18) Empalmes en prolongación de soldadura a tope a través del ala interpuesta.	Detalles 18) y 19): La comprobación a fatiga del elemento interpuesto debe efectuarse como detalle 4 o 5 de la tabla A27.8.4.
Como el detalle 4 de la tabla A27.8.4		19) Para transiciones con acuerdo conforme al detalle 4 de la tabla A27.8.4.	

Tabla A27.8.4 Cartelas y rigidizadores soldados

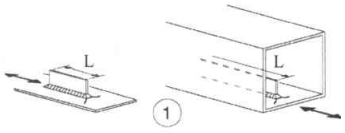
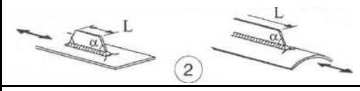
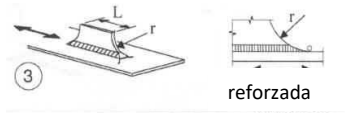
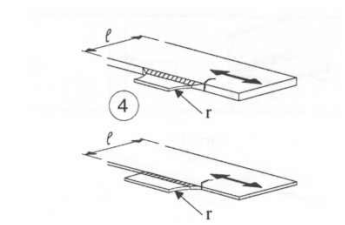
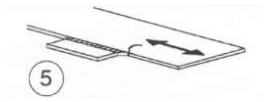
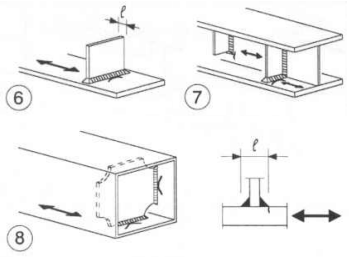
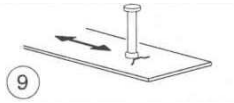
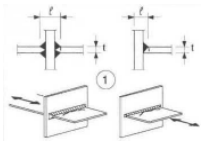
Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
80	$L \leq 50\ mm$		Cartelas longitudinales: 1) La categoría del detalle es función de la longitud L de la cartela.	El espesor de la cartela debe ser inferior a su altura. En caso contrario, véase la tabla A27.8.5, detalles 5 o 6.
71	$50 < L \leq 80\ mm$			
63	$80 < L \leq 100\ mm$			
56	$L > 100\ mm$			
71	$L > 100\ mm$ $\alpha < 45º$		2) Cartelas longitudinales soldadas a chapas o tubos.	
80	$r > 150\ mm$		3) Cartela con acuerdo de transición soldada en ángulo a una chapa o tubo; extremo del cordón de soldadura reforzado (penetración total); longitud del cordón reforzado > r.	Detalles 3) y 4): Acuerdo de transición ejecutado mediante mecanizado u oxicorte de la cartela antes de ser soldada, posterior desbaste del área de soldadura paralela a la flecha dibujada hasta eliminar por completo el pie del cordón transversal.
90	$\frac{r}{l} \geq \frac{1}{3}$ o r > 150 mm		4) Cartela soldada al borde de una chapa o al del ala de una viga.	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{l} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{l} < \frac{1}{6}$			
40			5) Unión soldada sin acuerdo de transición.	
80	$\ell \leq 50$ mm		Cartelas o rigidizadores transversales 6) Cartelas soldadas a chapas. 7) Rigidizadores verticales soldados a vigas armadas o perfiles laminados. 8) Diafragmas de vigas cajón soldados a las alas o a las almas. Para secciones pequeñas pueden no ser viables. Las categorías de detalle son válidas también para rigidizadores anulares.	Detalles 6) y 7): Los extremos de los cordones deben ser cuidadosamente des-bastados para eliminar mordeduras. 7) Si el rigidizador termina en el alma (parte izquierda de la figura), $\Delta\sigma$ debe calcularse empleando las tensiones principales.
71	$50 < \ell \leq 80$ mm			
80			9) Efecto sobre material base debido a los conectadores soldados	

Tabla A27.8.5 Uniones transmisoras de carga

<table>
<tr><th>Categoría de detalle</th><th colspan="2">Detalle constructivo</th><th>Descripción</th><th>Requisitos</th></tr>
<tr><td>80</td><td>$\ell \leq 50$ mm, cualquier t</td><td rowspan="8"></td><td rowspan="8">Uniones en cruz y en T:

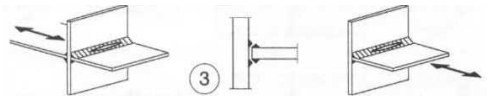
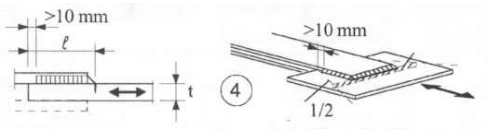
1) Fisuración del pie del cordón en soldaduras a tope con penetración total y en todas las soldaduras con penetración parcial.</td><td rowspan="10">1) Comprobada mediante inspección la ausencia de discontinuidades y des-alineaciones fuera de las tolerancias del Capítulo 21 del Código Estructural.
2) Para calcular $\Delta\sigma$ deberán emplearse las tensiones nominales modificadas.
3) En uniones con penetración parcial son necesarias dos comprobaciones a fatiga: en primer lugar la fisuración de la raíz de la unión con las tensiones definidas en el apartado 5 y con las categorías de detalle 36* para $\Delta\sigma_w$ y 80 para $\Delta\tau_w$. En segundo lugarla fisuración de la raíz del cordón se evalúa con el valor de $\Delta\sigma$ correspondiente a la chapa solicitada.
Detalles 1) a 3):
La des-alineación de las chapas cargadas no debe superar el 15% del espesor de la interpuesta.</td></tr>
<tr><td>71</td><td>50 mm $< \ell \leq$ 80 mm, cualquier t</td></tr>
<tr><td>63</td><td>80 mm $< \ell \leq$ 100 mm, cualquier t</td></tr>
<tr><td>56</td><td>100 mm $< \ell \leq$ 120 mm, cualquier t</td></tr>
<tr><td>56</td><td>$\ell >$ 120 mm, t $\leq$ 20 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">50</td><td>120 mm $< \ell \leq$ 200 mm
t > 20 mm</td></tr>
<tr><td>$\ell >$200 mm
20 mm < t $\leq$ 30 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">45</td><td>200 mm $< \ell \leq$ 300 mm
t > 30 mm</td></tr>
<tr><td>$\ell >$300 mm
30 mm < t $\leq$ 50 mm</td></tr>
<tr><td>40</td><td>$\ell >$ 300 mm, t > 50 mm</td><td></td></tr>
<tr><td>Como el detalle 1 de la tabla A27.8.5</td><td colspan="2">Chapa flexible
</td><td>2) Fisuración de pie de cordón desde los extremos de la soldadura, con concentración de tensiones debida a la flexibilidad de la chapa.</td></tr>
<tr><td>36*</td><td colspan="2"></td><td>3) Fisuración de la raíz de la unión en uniones en ángulo y en uniones a tope en T con penetración parcial, de acuerdo con la figura A26.4.6 del Anejo 26</td></tr>
<tr><td>Como el detalle 1 de la tabla A27.8.5</td><td colspan="2">
área de la chapa principal sometida a tensiones: pendiente = 1/2</td><td>Uniones por solape soldadas:
4) Uniones por solape con soldaduras en ángulo.</td><td>4) En la chapa principal, $\Delta\sigma$ se calculará empleando el área indicada en la figura.
5) $\Delta\sigma$ debe calcularse en las chapas exteriores.
Detalles 4) y 5):
- Extremos de la soldadura a más de $10\ mm$ del borde de la chapa principal.
- La fisuración por cortante de los cordones debe comprobarse mediante el detalle 8.</td></tr>
</table>

Tabla A27.8.5 (cont.) Uniones transmisoras de carga

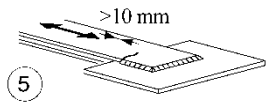
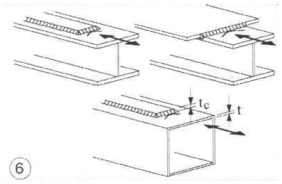
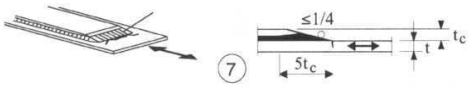
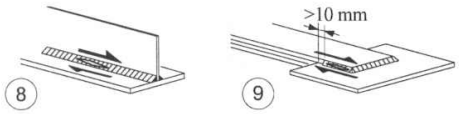
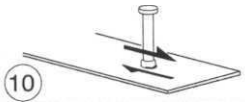
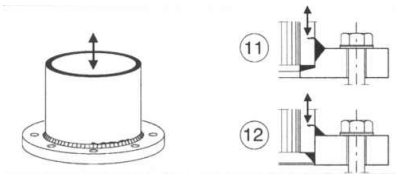
<table>
<tr><th>Categoría de detalle</th><th colspan="3">Detalle constructivo</th><th>Descripción</th><th>Requisitos</th></tr>
<tr><td>45*</td><td colspan="3">
</td><td><u>Uniones por solape soldadas:</u>
5) Uniones por solape con soldaduras en ángulo.</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>$t_c < t$</td><td>$t_c \geq t$</td><td rowspan="5">
</td><td rowspan="5"><u>Platabandas en vigas laminadas y armadas:</u>
6) Extremos de platabandas simples o múltiples, soldadas con o sin cordón en el borde frontal.</td><td rowspan="5">6) Si la platabanda es más ancha que el ala, es necesario un cordón de soldadura en el borde frontal cuidadosamente desbastado para eliminar mordeduras.
La longitud mínima de platabanda es de $300\ mm$. Para longitudes menores, el efecto del tamaño es el del detalle 1.</td></tr>
<tr><td>56*</td><td>t≤20</td><td>-</td></tr>
<tr><td>50</td><td>$20 < t \leq 30$</td><td>$t \leq 20$</td></tr>
<tr><td>45</td><td>$30 < t \leq 50$</td><td>$20 < t \leq 30$</td></tr>
<tr><td>40</td><td>$t > 50$</td><td>$30 < t \leq 50$</td></tr>
<tr><td>36</td><td>-</td><td>t>50</td><td></td></tr>
<tr><td>56</td><td colspan="3">Cordón frontal reforzado

</td><td>7) Platabandas en vigas laminadas y armadas.
La longitud del refuerzo ha de ser superior a $5t_c$.</td><td>7) El cordón del borde frontal enrasado con muela. También el extremo de la platabanda, con una pendiente < 1/4, si t_c > 20 mm.</td></tr>
<tr><td>80
m = 5</td><td colspan="3">
</td><td>8) $\Delta\tau$ ha de calcularse para la sección de garganta del cordón.
9) $\Delta\tau$debe calcularse para la sección de garganta considerando toda la longitud del cordón, cuyo extremo debe distar más de $10\ mm$ del borde de la chapa. Ver también los detalles 4) y 5).</td><td></td></tr>
<tr><td>Véase Anejo 32 (90 m=8)</td><td colspan="3">
</td><td><u>Conectadores soldados para transmisión de rasante:</u>
10) Para estructuras mixtas.</td><td>10) $\Delta\tau$se calcula para la sección nominal del perno del conectador.</td></tr>
<tr><td>71</td><td colspan="3" rowspan="2">
</td><td>11) Unión tubo-brida con el 80% de soldaduras a tope y penetración total.</td><td>11) El pie de la soldadura debe desbastarse. $\Delta\sigma$debe calcularse para el tubo.</td></tr>
<tr><td>40</td><td>12) Unión tubo-brida con soldaduras en ángulo.</td><td>12) $\Delta\sigma$ calculado para el tubo.</td></tr>
</table>

Tabla A27.8.6 Perfiles huecos

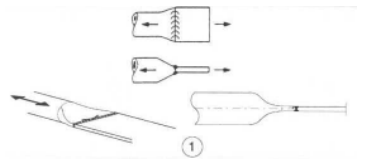
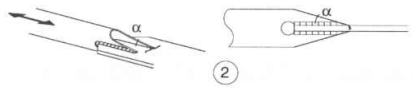
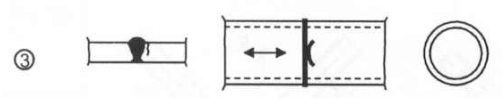
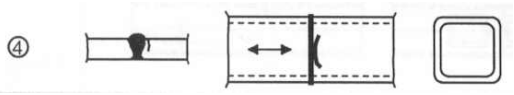
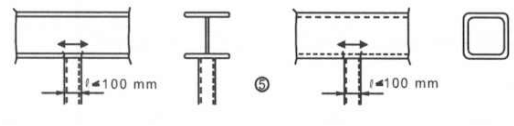
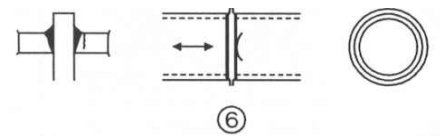
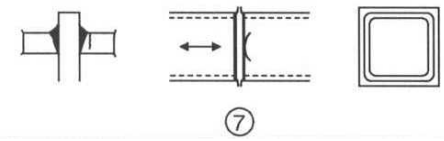
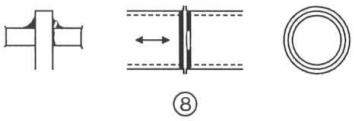
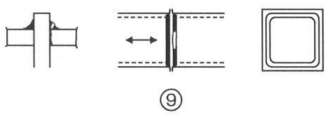
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
71		1) Uniones tubo-chapa con aplastamiento del extremo del tubo, soldadura a tope, biselado de bordes en X.	1) $\Delta\sigma$ debe calcularse para el tubo. Diámetro del tubo inferior a $200\ mm$.
71 63	$\alpha \leq 45º$ $\alpha > 45º$ 	2) Uniones tubo-chapa soldadas a lo largo de ranuras de inserción de la chapa en el tubo rematadas con taladros.	2) $\Delta\sigma$ debe calcularse para el tubo. La fisuración por cortante de la soldadura debe comprobarse utilizando el detalle 8 de la tabla A27.8.5.
71		<u>Soldaduras a tope con cordones frontales</u> 3) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles circulares huecos con soldaduras a tope.	<u>Detalles 3) y 4)</u> - Cordones con sobreespesor inferior al 10% de la anchura y transición gradual. - Ejecución de la soldadura en posición horizontal, inspeccionado y comprobado libre de defectos fuera de las tolerancias según el Capítulo 21 del Código Estructural. - Para $t > 8\ mm$, la categoría de detalle aumentará en dos categorías.
56		4) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles rectangulares huecos con soldaduras a tope.	
71		<u>Acoplamientos mediante soldadura:</u> 5) Perfiles huecos circulares o rectangulares unidos a otros perfiles mediante soldaduras en ángulo.	5) - Soldaduras que no transmitan carga. - Ancho paralelo a la dirección de las tensiones $\ell \leq 100\ mm$. - Para otros casos véase la tabla A27.8.4.
50		<u>Empalmes en prolongación soldados:</u> 6) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles circulares huecos mediante soldadura a tope con chapa interpuesta.	<u>Detalles 6) y 7)</u> - Soldaduras que transmitan carga. - Comprobación de soldaduras mediante inspección, y ausencia de defectos fuera de las tolerancias según el Capítulo 21 del Código Estructural. - Para t > 8 mm, la categoría de detalle aumenta en un escalón.
45		7) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles rectangulares huecos mediante soldadura a tope con chapa interpuesta.	
40		8) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles circulares huecos mediante soldadura en ángulo con chapa interpuesta.	<u>Detalles 8) y 9)</u> - Soldaduras que transmitan carga. - Espesores de pared $t \leq 8\ mm$.
36		9) Empalmes en prolongación extremo-extremo entre perfiles rectangulares huecos mediante soldadura en ángulo con chapa interpuesta.	

Tabla A27.8.7 Uniones de vigas en celosía

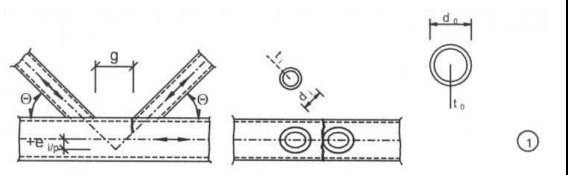
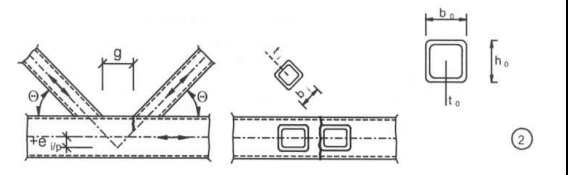
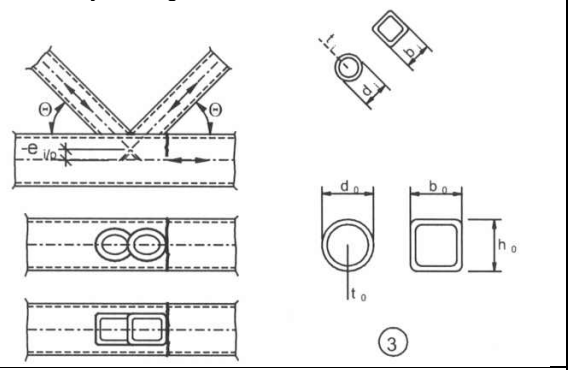
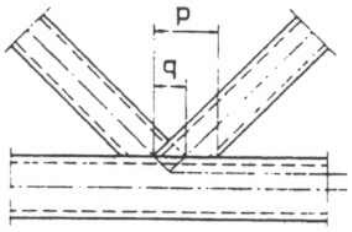
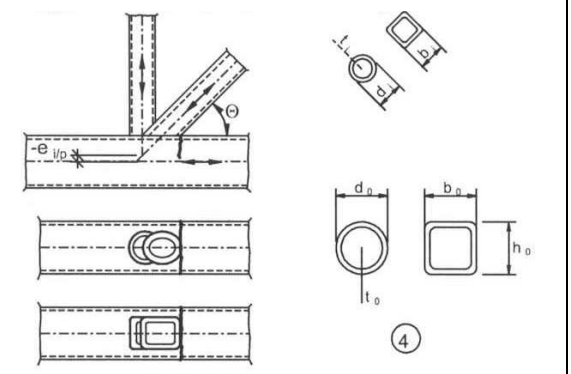
Categoría de detalle		Detalle constructivo	Requisitos
90 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2{,}0$	Uniones con separación: Detalle 1): Nudos en K y en N, perfiles circulares huecos:  ①	<u>Detalles 1) y 2)</u> - Comprobaciones por separado de cordones y riostras. - Para valores del cociente t_0/t_i intermedios, la categoría de detalle puede obtenerse por interpolación lineal de las categorías de detalle. - Se admite soldadura en ángulo para riostras con espesor de pared $t \leq 8\,mm$. t_0 y $t_i \leq$ 8 mm $35º \leq \theta \leq 50º$ $(b_0/t_0)x(t_0/t_i) \leq 25$ $(d_0/t_0)x(t_0/t_i) \leq 25$ $0{,}4 \leq b_i/b_0 \leq 1{,}0$ $0{,}25 \leq d_i/d_0 \leq 1{,}0$ $b_0 \leq 200$ mm $d_0 \leq 300$ mm - $0{,}5\ h_0 \leq e_{i/p} \leq 0{,}25\ h_0$ - $0{,}5\ d_0 \leq e_{i/p} \leq 0{,}25\ d_0$ $e_{o/p} \leq 0{,}02\ b_0$ ó $\leq 0{,}02\ d_0$ ($e_{o/p}$ es la excentricidad fuera del plano) <u>Detalle 2)</u> $0{,}5\ (b_0 - b_i) \leq g \leq 1{,}1\ (b_0 - b_i)$ y $g \geq 2\ t_0$
71 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2{,}0$	Uniones con separación: Detalle 2): Nudos en K y en N, perfiles rectangulares huecos:  ②	
36 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} = 1{,}0$		
71 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1'4$	Uniones con solape: Detalle 3): Nudos en K, perfiles circulares y rectangulares huecos:  ③	<u>Detalles 3) y 4)</u> - 30% ≤ solape ≤ 100% - solape = (q/p)×100% - Es necesario realizar las comprobaciones por separado de cordones y riostras. - Para valores del cociente t_0/t_i comprendidos entre 1 y 1,4, la categoría de detalle puede obtenerse por interpolación lineal. - Se admite la soldadura en ángulo para riostras con espesor de pared $t \leq 8\,mm$. t_0 y $t_i \leq$ 8 mm $35º \leq \theta \leq 50º$ $(b_0/t_0)x(t_0/t_i) \leq 25$ $(d_0/t_0)x(t_0/t_i) \leq 25$ $0{,}4 \leq b_i/b_0 \leq 1{,}0$ $0{,}25 \leq d_i/d_0 \leq 1{,}0$ $b_0 \leq 200\ mm$ $d_0 \leq 300$ mm - $0{,}5\ h_0 \leq l_{i/p} \leq 0{,}25\ h_0$ - $0{,}5\ d_0 \leq l_{i/p} \leq 0{,}25\ d_0$ $e_{o/p} \leq 0{,}02\ b_0$ o $\leq 0{,}02\ d_0$ ($e_{o/p}$ es la excentricidad de alabeo) Definiciones de p y q: 
56 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} = 1$		
71 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1'4$	Uniones con solape: Detalle 4): Nudos en N, perfiles rectangulares y circulares huecos:  ④	
50 m = 5	$\frac{t_0}{t_i} = 1{,}0$		

Tabla A27.8.8 Tableros ortótropos con rigidizadores cerrados

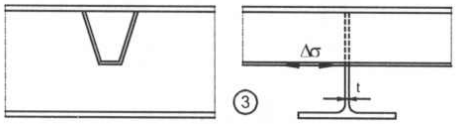
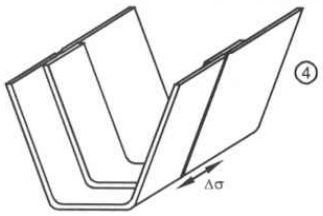
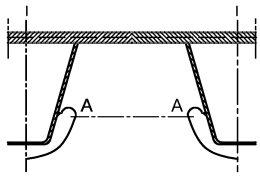
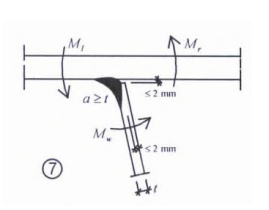
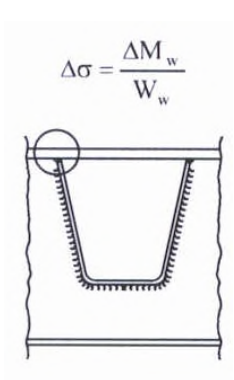
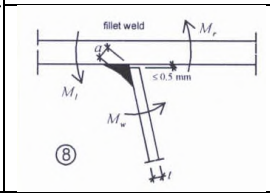
Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
80	$t \leq 12\ mm$	1) Rigidizador continuo longitudinal con groeras en las viguetas.	1), 2), 3) y 4) Comprobación basada en el rango$\Delta\sigma$ de tensiones normales del rigidizador longitudinal.
71	$t > 12\ mm$		
80	$t \leq 12\ mm$	2) Rigidizador continuo longitudinal sin groeras en las viguetas.	
71	$t > 12\ mm$		
36		3) Rigidizador longitudinal discontinuo, interrumpido por las viguetas.	
71		4) Empalme de rigidizadores mediante soldadura a tope con penetración total y chapa dorsal.	
112	Como los detalles 1, 2, 4 de la tabla A27.8.3	5) Empalme de rigidizadores mediante soldadura a tope sin chapa dorsal, con soldeo por ambos lados y penetración total.	5) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensiones normales del rigidizador. Puntos de soldadura en la zona a ocupar por la soldadura a tope.
90	Como los detalles 5 y 7 de la tabla A27.8.3.		
80	Como los detalles 9 y 11 de la tabla A27.8.3		
71		6) Sección crítica en el alma de las vigas transversales debido a las groeras.	6) Comprobación basada en el rango de tensiones de la sección crítica teniendo en cuenta el efecto Vierendeel. NOTA: Se puede utilizar la categoría de detalle 112 si el rango de tensiones se calcula con apartado 9.4.2.2(3) del Anejo 29,
71	 	Unión soldada entre chapas de tablero y rigidizadores de sección trapezoidal o en V: 7) Soldaduras con penetración parcial con $a \geq t$.	7) Comprobación basada en el rango de tensiones normales debidas a la flexión de la chapa.
50		8) Soldaduras en ángulo o soldaduras con penetración parcial fuera de los límites del detalle 7).	8) Comprobación basada en el rango de tensiones normales debidas a la flexión de la chapa.

Tabla A27.8.9 Tableros ortótropos con rigidizadores abiertos

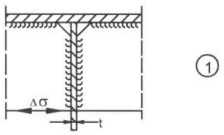
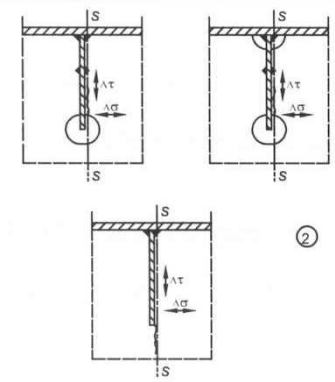
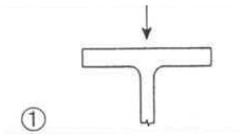
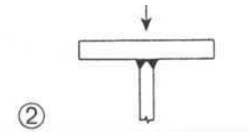
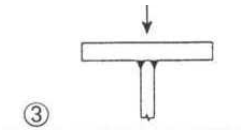
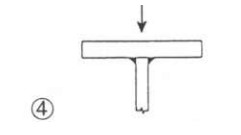
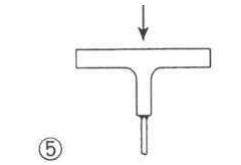
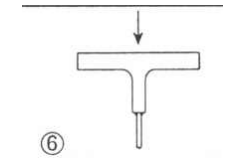
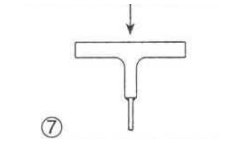
Categoría de detalle	Detalle constructivo		Descripción	Requisitos
80	$t \leq 12\ mm$	 ①	1) Uniones de rigidizadores longitudinales a viguetas.	1) Comprobación basada en la carrera $\Delta\sigma$ de tensiones normales del rigidizador.
71	$t > 12\ mm$			
56	 ②		2) Uniones de rigidizadores longitudinales continuos a viguetas. $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$ Comprobar también la carrera de tensiones entre rigidizadores según la definición del Anejo 29.	2) Comprobación basada en la combinación de la carrera de tensiones tangenciales $\Delta\tau$ y normales $\Delta\sigma$ en el alma de la vigueta, como carrera equivalente de tensiones: $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2}\left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2}\right)$

Tabla A27.8.10 Uniones ala-alma de una viga carril

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
160		1) Perfiles laminados con secciones en I o H.	1) y 2) Rango de tensiones verticales de compresión $\Delta\sigma_{vert}$ en el ala por carga de ruedas.
71		2) Unión con soldaduras a tope en T y penetración total.	
36*		3) Unión con soldaduras a tope en T y penetración parcial o penetración total efectiva según el Anejo 26.	3) y 4) Rango $\Delta\sigma_{vert}$ de tensiones en la garganta de los cordones por compresión vertical debida a carga de ruedas.
36*		4) Soldaduras en ángulo.	
71		5) Unión a ala de sección en T mediante soldaduras a tope en T con penetración total.	5) Carrera de tensiones $\Delta\sigma_{vert}$ verticales de compresión en el ala por carga de ruedas.
36*		6) Unión a ala de sección en T mediante soldaduras a tope en T con penetración parcial o con penetración total efectiva según el Anejo 26.	6) y 7) Carrera $\Delta\sigma_{vert}$, de tensiones en la garganta de los cordones por compresión vertical debida a carga de ruedas.
36*		7) Unión a ala de sección en T mediante soldaduras en ángulo.	

Apéndice A Recomendaciones para la determinación de los parámetros de las cargas de fatiga y métodos de comprobación

A.1 Determinación de los procesos de cargas

(1) Es conveniente determinar, en base a casos típicos similares, las secuencias de cargas que puedan ser consideradas como envolventes de todas las secuencias de cargas de servicio durante la vida de diseño a la fatiga, véase la figura A27.A.1a).

A.2 Historial de tensiones para los detalles

(1) Deberá determinarse un historial de tensiones, a partir de los procesos de carga eventuales del detalle constructivo considerando el tipo y la forma de las líneas de influencia y los efectos de amplificación dinámica de la respuesta de la estructura, véase la figura A27.A.1b).

(2) El historial de tensiones puede determinarse también a partir de valores experimentales de estructuras similares o de cálculos dinámicos de la respuesta de la estructura.

A.3 Recuento de ciclos

(1) El historial de tensiones puede evaluarse por los siguientes métodos de recuento de ciclos:

- método de la gota de agua;
- método del vaciado de depósito, ver figura A27.A.1.c).

para determinar:

- rangos de tensiones y sus números de ciclos;
- las tensiones medias, cuando sea necesario tener en cuenta la influencia de la tensión media.

A.4 Espectro del rango de tensiones

(1) El espectro del rango de tensiones deberá determinarse a partir de plantear los rangos de tensiones y el número de ciclos asociados en orden descendente, véase la figura A27.A.1d).

(2) El espectro del rango de tensiones puede modificarse sin tener en cuenta los valores pico del rango de tensiones que representan menos del 1% del daño total y los rangos de tensiones pequeños situados por debajo del umbral de daño.

(3) El espectro de un rango de tensiones puede normalizarse de acuerdo con su forma, por ejemplo con las coordenadas $\overline{\Delta\sigma} = 1{,}0$ y $\overline{\sum n} = 1{,}0$.

A.5 Ciclos para la rotura

(1) Cuando se emplea el espectro de cálculo los rangos de tensiones aplicados $\Delta\sigma_i$ deberán multiplicarse por γ_{Ff} y el valor de la resistencia a fatiga $\Delta\sigma_c$ dividirlo por γ_{Mf}, con el objeto de obtener el valor de resistencia N_{Ri} para cada banda del espectro. El daño D_d producido durante la vida útil deberá calcularse a partir de:

$$D_d = \sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} \qquad \text{(A.1)}$$

donde:

n_{Ei} es el número de ciclos asociados con el rango de tensiones $\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i$ para la banda i en el espectro ponderado

N_{Ri} es la resistencia (en ciclos) obtenida de la curva ponderada $\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} - N_R$ para un rango de tensiones $\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i$.

(2) En base a la equivalencia de D_d, el espectro de cálculo del rango de tensiones puede transformarse en un espectro de rango de tensiones de cálculo equivalente, por ejemplo un espectro de cálculo con un rango de tensiones de amplitud constante, produciendo la carga de fatiga equivalente Q_e asociada a un número de ciclos $n_{máx} = \sum n_i$ ó $Q_{E,2}$ asociado a un número de ciclos $N = 2\ x\ 10^6$.

A.6 Formatos de comprobación

(1) La evaluación de la fatiga basada en la acumulación de daño deberá aplicar el siguiente criterio:

- basado en la acumulación de daño:

  $D_d \leq 1{,}0$ (A.2)

- basado en el rango de tensiones:

  $\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_{E,2} \leq \sqrt[m]{D_d}\,\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$ donde $m = 3$ (A.3)

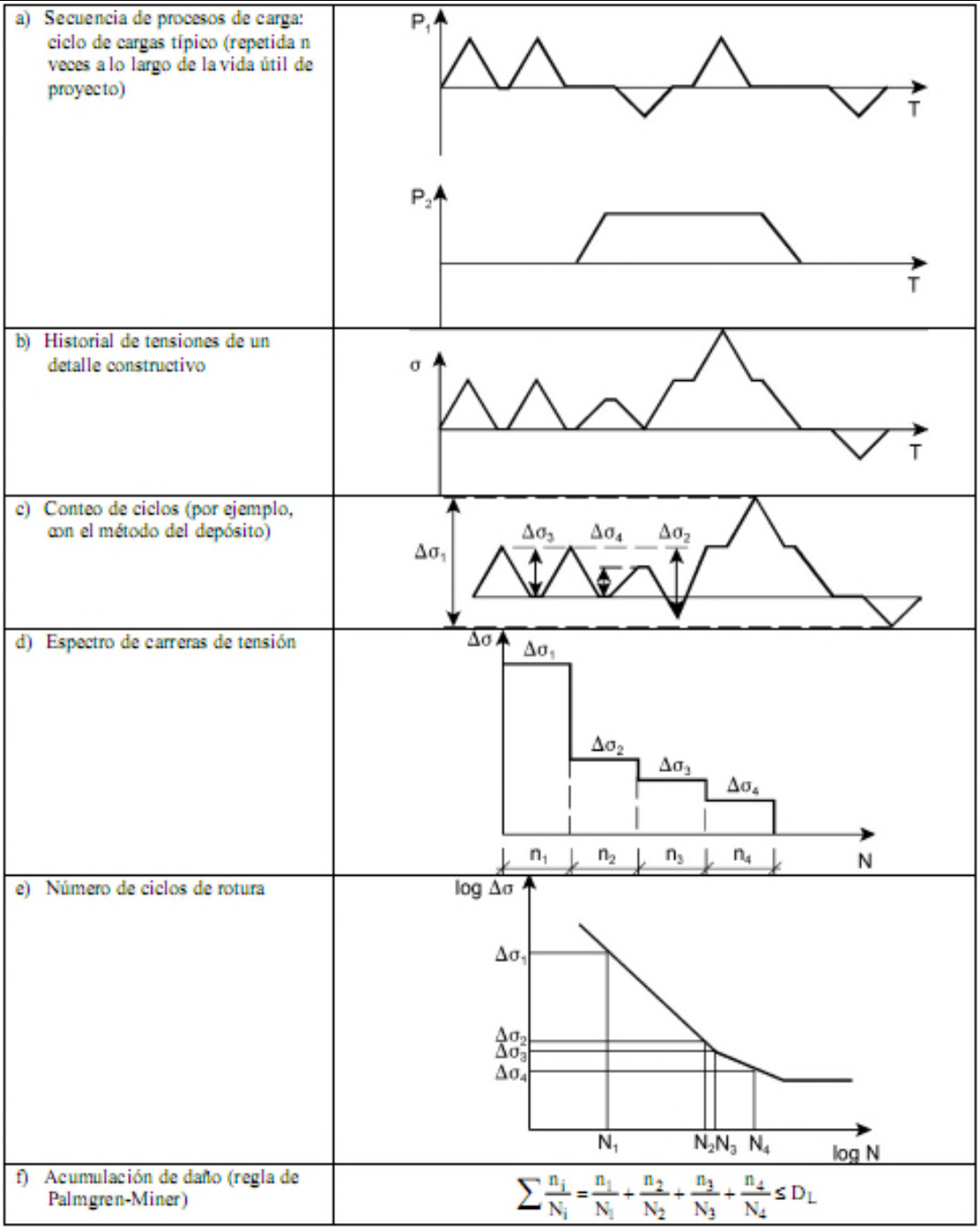


Figura A27.A.1 Método acumulativo de daño

A.7 Cálculo de las carreras de tensiones

Las carreras de tensiones se determinarán mediante las siguientes reglas:

1. Identificación de los ciclos de carga básicos (por ejemplo, cada paso del carro en un puente grúa) a partir de las especificaciones particulares del proyecto, y determinación del número de veces que se repiten a lo largo de la vida útil de la estructura.
2. Selección de los detalles constructivos a comprobar (por ejemplo, los cordones de ala de un empalme soldado en una viga carrilera) y cálculo de las tensiones producidas por los ciclos de carga básicos (por ejemplo, las tensiones normales en las alas en la sección del citado empalme).

3. Para los detalles tipo incluidos en las tablas A27.8.1.a a A27.8.10 de este anejo, basta calcular las tensiones nominales, que incluyen los efectos debidos al carácter dinámico de las acciones, pero no los de concentración de tensiones. Esta exclusión se debe a que la concentración de tensiones causada por la configuración geométrica del detalle está tenida en cuenta a través de las categorías de detalle que figuran en las tablas A27.8.1 a A27.8.10.
4. Cuando los detalles de las tablas A27.8.1.a a A27.8.10 estén bajo el efecto de concentradores de tensión (cambios de sección, taladros, aberturas, etc.) no incluidos en la geometría tipificada del detalle, es necesario multiplicar las tensiones nominales por el correspondiente factor de concentración de tensiones. Las tensiones resultantes se denominan tensiones nominales modificadas.
5. En las estructuras en celosía formadas por perfiles tubulares circulares o rectangulares y cargadas en su plano, las concentraciones de tensión debidas a los momentos secundarios en los nudos pueden tenerse en cuenta multiplicando las tensiones obtenidas a partir de un modelo convencional (de nudos articulados) por los factores k_1 indicados en las tablas A27.A.1.a y A27.A.1.b.

Tabla A27.A.1.a Factores k_1 para vigas en celosía de perfiles circulares huecos

Tipo de nudo		Cordones	Montantes	Diagonales
Nudos con huelgo	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N/Tipo KT	1,5	1,8	1,4
Nudos con solape	Tipo K	1,5	1,0	1,2
	Tipo N/Tipo KT	1,5	1,65	1,25

Tabla A27.A.1.b Factores k_1 para vigas en celosía de perfiles rectangulares huecos

Tipo de nudo		Cordones	Montantes	Diagonales
Nudos con huelgo	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,2	1,6
Nudos con solape	Tipo K	1,5	1,0	1,3
	Tipo N / Tipo KT	1,5	2,0	1,4

6. En las uniones soldadas con fuertes gradientes de tensión en el pie de los cordones de soldadura, las tensiones nominales se sustituyen por las tensiones geométricas. Las tensiones geométricas son tensiones principales en el material base de la raíz del cordón que incluyen los efectos de las concentraciones de tensión debidas a la configuración geométrica global del detalle y a la configuración geométrica local del cordón de soldadura. Para las uniones soldadas de la tabla A27.B1 de este anejo, basta emplear métodos de análisis capaces de considerar el efecto concentrador de tensiones debido a la geometría global del nudo, ya que el efecto del cordón se recoge en las categorías de detalle de la tabla.
7. Las carreras de tensión en los ciclos de carga básicos pueden determinarse a partir de las tensiones empleando el método del “vaciado del depósito" o el método de la "gota de agua". Junto con el valor de cada carrera de tensión habrá de determinarse también el número de veces que la carrera se repite en la vida útil de la estructura.

   En el método del “vaciado del depósito" los valores de las tensiones y el orden en que se suceden a lo largo del tiempo se representan como puntos de un diagrama cartesiano, con las

tensiones como ordenadas y cualquier variable que sea una función creciente del tiempo como abscisa. Cada punto así representado se une con el siguiente mediante una recta y la poligonal resultante se identifica con el perfil de un depósito de agua cuya superficie libre es la paralela al eje de abscisas del gráfico que pasa por el punto de máxima tensión. Cada mínimo relativo de la poligonal es un desagüe del depósito. El depósito se vacía abriendo los desagües uno tras otro, cuando el precedente deja de evacuar agua. En cada apertura se abre el desagüe que origina el máximo descenso local del nivel del agua. Las carreras de tensiones son las profundidades locales de cada desagüe inmediatamente antes de ser abierto. Las carreras de tensiones obtenidas por este método a partir del gráfico de la figura A27.A.2 serían S_1, S_2, S_3 y S_4.

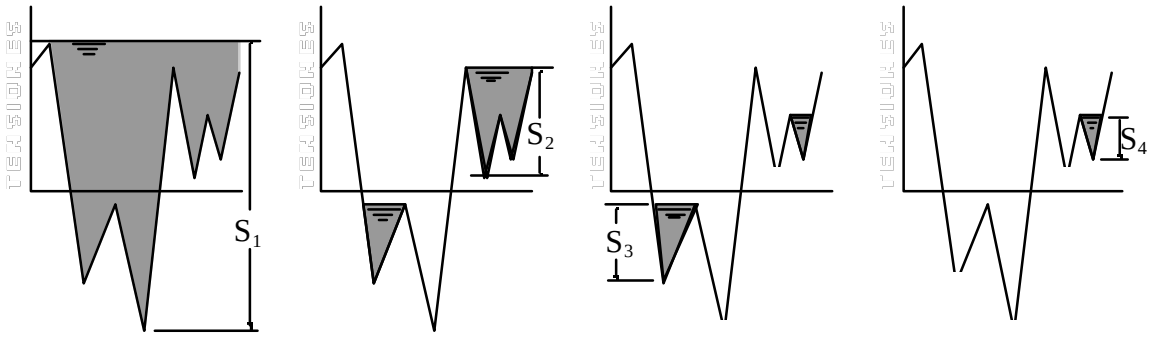


Figura A27.A.2 Determinación de las carreras de tensiones por el método del "vaciado del depósito"

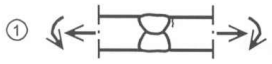
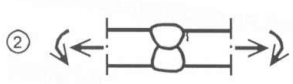
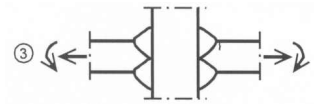
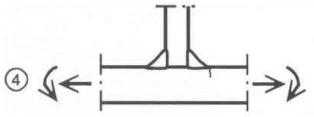
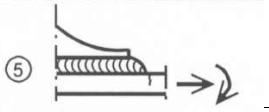
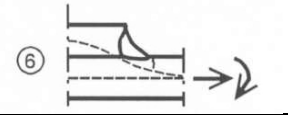
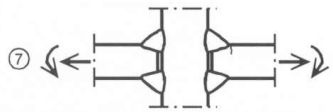
8. Para determinar las carreras de tensiones normales en detalles sin soldaduras o con soldaduras sometidas a un tratamiento de relajación de tensiones, las tensiones de compresión pueden reducirse al 60%.

Apéndice B Recomendaciones para la resistencia a fatiga empleando el método de las tensiones geométricas (punto caliente)

(1) Para la aplicación del método de las tensiones geométricas se dan las categorías de detalle en la tabla A27.B.1 para fisuras con origen en el pie de cordones de:

- soldaduras a tope;
- soldadura en ángulo de cartelas y rigidizadores;
- soldadura en ángulo con uniones en cruz.

Tabla A27.B.1 Categorías de detalle para el método de las tensiones geométricas (punto caliente)

Categoría de detalle	Detalle constructivo	Descripción	Requisitos
112		1) Soldaduras a tope con penetración total.	1) - Todas las soldaduras deberán estar enrasadas con las superficies unidas por amolado paralelamente a la dirección de la flecha del dibujo. - Utilización y posterior retirada de chapas de respaldo y amolado bordes de chapa en la dirección de la tensión. - Soldeo por ambos lados y comprobación mediante END. - Para desalineaciones véase la NOTA 1.
100		1) Soldaduras a tope con penetración total.	2) - Cordones de soldadura no amolados. - Utilización y posterior retirada de chapas de respaldo y amolado de los bordes de chapa con muela en la dirección de la tensión. - Soldeo por ambos lados. - Para desalineaciones véase la NOTA 1.
100		3) Unión en cruz con soldaduras a tope en K y penetración total.	3) -Ángulo de pie de cordón ≤ 60º. -Para desalineaciones véase la NOTA 1.
100		4) Soldaduras en ángulo no transmisoras de carga.	4) - Ángulo de pie de cordón ≤ 60º. - Véase también la NOTA 2.
100		5) Extremos de fijaciones y extremos de rigidizadores longitudinales.	5) - Ángulo de cordón ≤ 60º. - Véase también la NOTA 2.
100		6) Extremos de chapas de cubrición y uniones similares.	6) - Ángulo de pie de cordón ≤ 60º. - Véase también la NOTA 2.
90		7) Uniones en cruz con soldaduras en ángulo transmisoras de carga.	7) - Ángulo de pie de cordón ≤ 60º. - Para desalineaciones véase la NOTA 1. Véase también la NOTA 2.

NOTA 1: La tabla A27.B.1 no cubre los efectos de la desalineación. Tienen que considerarse explícitos en la determinación de las tensiones.

NOTA 2: La tabla A27.B.1 no cubre la iniciación de la fatiga desde la raíz de una soldadura seguida de la propagación a través de la garganta.

NOTA 3: Para la definición del ángulo del pie del cordón de soldadura véase la norma UNE-EN 1090.