Anejo 28
Proyecto de estructuras de acero. Tenacidad de fractura

Contenido

1. GENERALIDADES 1545

1.1. ALCANCE 1545
1.2. NORMATIVA DE REFERENCIA 1545
1.3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES 1545
1.3.1. Resiliencia KV 1545
1.3.2. Zona de transición 1545
1.3.3. Zona dúctil 1545
1.3.4. T_{27J} 1546
1.3.5. Estricción Z 1546
1.3.6. Tenacidad de fractura K_{Ic} 1546
1.3.7. Grado de conformado en frío 1546
1.4. NOTACIÓN 1546

2. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES POR TENACIDAD DE FRACTURA 1547

2.1. GENERALIDADES 1547
2.2. PROCEDIMIENTO 1547
2.3. ESPESORES MÁXIMOS ADMISIBLES 1549
2.3.1. Generalidades 1549
2.3.2. Determinación del máximo espesor admisible de los elementos 1550
2.4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE LA MECÁNICA DE LA FRACTURA 1551

3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES POR LAS PROPIEDADES DEL ESPESOR 1552

3.1. GENERALIDADES 1552
3.2. PROCEDIMIENTO 1553

1. Generalidades

1.1. Alcance

(1) Este anejo contiene una guía de cálculo para la selección de aceros basada en la tenacidad de la fractura y para determinar las propiedades del espesor de los elementos soldados cuando haya un riesgo significativo de desgarro laminar durante la fabricación.

(2) Este anejo es de aplicación en aceros recogidos en el Artículo 83 del Código Estructural.

(3) Las reglas y guías dadas en los apartados 2 y 3 suponen que la construcción se ejecutará de acuerdo con lo establecido en el Capítulo 21 del Código Estructural.

1.2. Normativa de referencia

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

1.3. Términos y definiciones

1.3.1. Resiliencia KV

La resiliencia KV (Resiliencia Charpy V) es la energía de choque medida en Julios [J] necesario para romper una probeta Charpy (probeta con una entalla determinada a una temperatura T dada). Las normas de producto generalmente especifican que las muestras del ensayo no deberán fallar a una energía de impacto por debajo de $27\,J$ a la temperatura de ensayo especificada T.

1.3.2. Zona de transición

La región del diagrama tenacidad-temperatura mostrada en la relación KV(T) en la que la tenacidad del material disminuye con la temperatura y el modo de fallo cambia de dúctil a frágil. Los valores de temperatura T_{27J} requeridos en las normas de producto se localizan en la zona baja de esta región.

1.3.3. Zona dúctil

La región del diagrama tenacidad-temperatura en la que los elementos de acero muestran un comportamiento elasto-plástico con modos dúctiles de fractura independientemente de la presencia de pequeños defectos y discontinuidades en el proceso de fabricación.

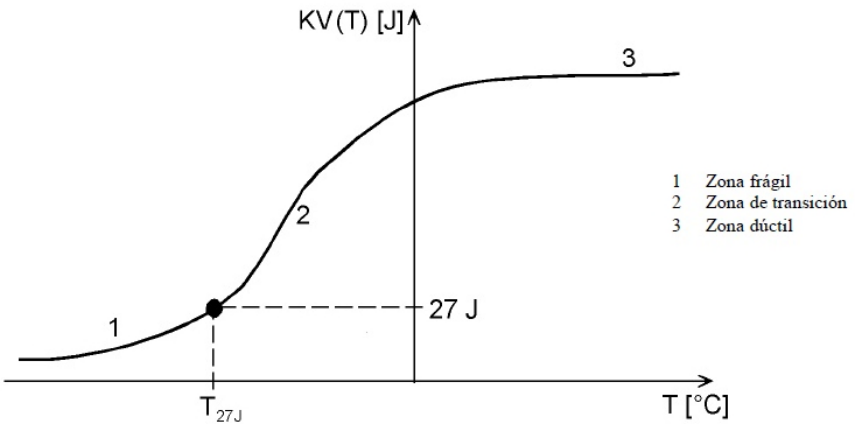


Figura A28.1.1 Relación entre la energía de impacto y la temperatura

1.3.4. T_{27J}

Temperatura a la que la energía mínima del ensayo de impacto de Charpy A_V no será inferior a $27\ J$.

1.3.5. Estricción Z

Reducción porcentual que experimenta la sección transversal de una probeta perpendicular al plano de la chapa en un ensayo de tracción, de acuerdo con lo establecido en el apartado 82.5.2 del Código Estructural.

1.3.6. Tenacidad de fractura K_{Ic}

Tenacidad de fractura en el plano de deformación para el comportamiento elástico lineal medido en $N/mm^{3/2}$.

NOTA: Las dos unidades alternativas internacionales reconocidas para el coeficiente de intensidad de tensión K son $N/mm^{3/2}$ y $MPa\sqrt{m}$ (es decir $MN/m^{3/2}$) donde:

$$1\frac{N}{mm^{\frac{3}{2}}} = 0{,}032MPa\sqrt{m}$$

1.3.7. Grado de conformado en frío

Deformación permanente debida al conformado en frío medida en porcentaje.

1.4. Notación

KV(T)	energía de impacto en Julios $[J]$ en un ensayo a temperatura T con una muestra entallada en V de Charpy
Z	calidad Z [%]
T	temperatura [$^{\circ}C$]
T_{Ed}	temperatura de referencia
K	Factor de intensidad de tensiones
δ	Apertura del frente de fisura, en mm, medida en una muestra pequeña para determinar la tenacidad de fractura elasto-plástica
J	Valor de la tenacidad de fractura elasto-plástica (valor de la integral J) en N/mm determinado como una integral lineal o superficial que engloba el frente de fisura de la superficie de una fisura a la otra
K_{Ic}	Valor de la tenacidad de fractura elástica (coeficiente de intensidad de tensiones) medido en $N/mm^{3/2}$
ε_{cf}	grado de conformado en frío (DCF) en porcentaje
σ_{Ed}	Tensión asociada a la temperatura de referencia T_{Ed}.

2. Selección de los materiales por tenacidad de fractura

2.1. Generalidades

(1) La guía dada en este apartado deberá utilizarse para la selección del material de nueva construcción. No se pretende cubrir las evaluaciones de materiales en servicio. Las reglas deberán utilizarse para seleccionar una calidad adecuada de acero conforme al Capítulo 18 del Código Estructural.

(2) Las reglas son de aplicación a los elementos traccionados, soldados y sometidos a tensiones de fatiga en las que alguna parte del ciclo de tensiones sea de tracción.

NOTA: Para elementos no sujetos a tracción, soldadura o fatiga las reglas podrían ser conservadoras. En tales casos podrá ser apropiada el análisis mediante la mecánica de rotura, véase el apartado 2.4. La tenacidad a la fractura no necesita especificarse para elementos solicitados únicamente a compresión.

(3) Las reglas deberán aplicarse a las propiedades de los materiales especificadas para cada tipo de acero según lo recogido en el Capítulo 18 del Código Estructural en función de su tenacidad. No podrá utilizarse material de calidad inferior aunque los resultados de los ensayos muestren el cumplimiento de la calidad específica.

2.2. Procedimiento

(1) La calidad del acero deberá seleccionarse teniendo en cuenta lo siguiente:

(i) propiedades del material de acero:

- límite elástico dependiente del espesor del material $f_y(t)$,
- tenacidad expresada en términos de T_{27J} o T_{40J},

(ii) características del elemento:

- forma y detalles del elemento,
- concentración de tensiones de acuerdo con los expuesto en el Anejo 27 del Código Estructural,
- espesor del elemento (t),
- hipótesis apropiadas de producción con imperfecciones (tales como fisuras en el espesor o fisuras superficiales semi-elípticas),

(iii) situaciones de proyecto:

- valor de cálculo de la temperatura más baja del elemento,
- tensiones máximas debidas a acciones permanentes e impuestas calculadas considerando las condiciones de cálculo descritas en la disposición (4),
- tensiones residuales,
- hipótesis de crecimiento de fisuras debido a cargas de fatiga durante un intervalo de inspecciones (si procede),
- velocidad de deformación $\dot{\varepsilon}$ debida a acciones accidentales (si procede),
- grado de conformado en frío $(\varepsilon_{\mathrm{cf}})$ (si procede).

(2) El espesor permitido de los elementos de acero frente a la fractura deberá obtenerse del apartado 2.3 y de la tabla A28.2.1.

(3) Podrán aplicarse los siguientes métodos alternativos para determinar los requisitos de tenacidad:

- Método mecánico de fractura:

  En este método el valor de cálculo de la tenacidad requerida no deberá superar el valor de cálculo de las propiedades de tenacidad.

- Evaluación numérica:

  Esta podrá llevarse a cabo utilizando una o más muestras de ensayo a gran escala. Para conseguir resultados realistas, los modelos deberán construirse y ponerse en carga de forma similar a la estructura real.

(4) Deberán utilizarse las siguientes condiciones de cálculo:

(i) Las acciones deberán ser las correspondientes a la siguiente combinación:

$$E_d = E\{A[T_{Ed}] + \sum G_K" + "\psi_1 Q_{K1}" + "\sum \psi_{2,i} Q_{Ki}\} \quad (2.1)$$

donde la acción dominante A es la temperatura de referencia T_{Ed} que influye en la tenacidad del material del elemento considerado y podrá generar tensiones por restricción del movimiento. $\sum G_K$ son las acciones permanentes, $\psi_1 Q_{K1}$ es el valor frecuente de la carga variable y $\psi_{2,i} Q_{Ki}$ son los valores cuasi-permanentes del resto de cargas variables acompañantes, que gobiernan el nivel de tensiones en el material.

(ii) Los coeficientes de combinación ψ_1 y ψ_2 deberán ser acordes con lo establecido en el Anejo 18 del Código Estructural y la reglamentación específica vigente.

(iii) La tensión máxima aplicada σ_{Ed} deberá ser la tensión nominal en el punto de inicio de la fractura potencial. σ_{Ed} deberá calcularse en estado límite de servicio teniendo en cuenta todas las combinaciones de acciones permanentes y variables como se define en la reglamentación específica vigente.

NOTA 1: La combinación anterior se considerará equivalente a una combinación accidental, porque se supone que se producen simultáneamente la temperatura más baja, la dimensión de la imperfección, la localización de la imperfección y las propiedades del material.

NOTA 2: σ_{Ed} podrá incluir tensiones debidas a coacciones de movimientos producidos por cambios de temperatura.

NOTA 3: Como la acción dominante es la temperatura de referencia T_{Ed}, generalmente la tensión máxima aplicada σ_{Ed} no superará el 75% del límite elástico.

(5) La temperatura de referencia T_{Ed} en el punto de fractura potencial deberá determinarse utilizando la siguiente expresión:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_{\dot{\varepsilon}} + \Delta T_{\varepsilon_{cf}} \quad (2.2)$$

donde:

T_{md} es la temperatura más baja del aire para un periodo de retorno específico, (véase reglamentación específica)

ΔT_r es un término que considera el efecto de la pérdida por radiación térmica, (véase reglamentación específica)

ΔT_σ es el ajuste para la tensión y el límite elástico del material, imperfección de fisura y forma y dimensiones del elemento, véase el apartado 2.4(3)

ΔT_R es el margen de seguridad, si se requiere, para reflejar los diferentes niveles de fiabilidad para las diferentes aplicaciones. Se utilizará el valor de ΔT_R =0°C en la ecuación (2.2) si se utiliza la tabla A28.2.1 de espesores máximos

$\Delta T_{\dot{\varepsilon}}$ es el ajuste por una velocidad de deformación distinta de la de referencia $\dot{\varepsilon}_0$ (véase la ecuación 2.3)

$\Delta T_{\varepsilon_{cf}}$ es el ajuste para considerar el grado de conformación en frío ε_{cf} (véase la ecuación 2.4).

NOTA 2: Se ha utilizado una curva normalizada del incremento de temperatura ΔT_{σ}en la obtención de los valores tabulados en 2.3, que envuelve los valores de cálculo de la función de intensidad de tensiones $[K]$ para unas tensiones aplicadas σ_{Ed} y tensiones residuales e incluyendo la correlación de Wallin-Sanz entre la función de intensidad de tensiones $[K]$ y la temperatura T. Podrá tomarse un valor de $\Delta T_{\sigma} = 0\,^{o}C$ cuando se utilicen los valores tabulados de acuerdo con el apartado 2.3.

NOTA 4: No se limita el uso de la tabla A28.2.1 a aceros de calidad inferior o igual a S460.

(6) Las tensiones de referencia σ_{Ed} deberán determinarse utilizando un análisis elástico teniendo en cuenta los efectos secundarios debidos a las deformaciones.

2.3. Espesores máximos admisibles

2.3.1. Generalidades

(1) La tabla A28.2.1 indica los espesores máximos permisibles de los elementos en función de la calidad del acero, su tenacidad en términos de la resiliencia KV, de la tensión de referencia [σ_{Ed}] y de la temperatura de referencia [T_{Ed}].

(2) Los valores tabulados se basan en las siguientes hipótesis:

- los valores cumplen los requisitos de fiabilidad de del Artículo 5 de este Código Estructural para la calidad general del material,
- se utiliza una velocidad de deformación de referencia $\dot{\varepsilon}_0 = 4x10^{-4}/seg$. Esto cubre los efectos de acciones dinámicas para la mayoría de las situaciones transitorias y persistentes de cálculo. Para otras velocidades de deformación $\dot{\varepsilon}$ (como cargas de impacto) podrán utilizarse los valores tabulados descontando al T_{Ed} el valor de $\Delta T_{\dot{\varepsilon}}$.

  $$\Delta T_{\dot{\varepsilon}} = -\frac{1440-f_y(t)}{550} x \left(ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) [^{\circ}C] \qquad (2.3)$$

- se suponen materiales no conformados en frío con $\varepsilon_{cf} = 0\%$. En el caso de aceros no envejecidos conformados en frío, podrán utilizarse los valores tabulados reduciendo T_{Ed} con $\Delta T_{\varepsilon_{cf}}$, donde:

  $$\Delta T_{\varepsilon_{cf}} = -3\varepsilon_{cf} [^{\circ}C] \qquad (2.4)$$

- los valores del espesor nominal de la entalladura en términos de T_{27J} se basará en las siguientes normas de productos: UNE-EN 10025, UNE-EN 10210-1, UNE-EN 10219-1.

  Para otros valores se utilizará la siguiente correlación:

  $$T_{40J} = T_{27J} + 10\ [ºC]$$

  $$T_{30J} = T_{27J} + 0\ [ºC] \qquad (2.5)$$

- para elementos sujetos a fatiga, están cubiertos todas las categorías detalladas para las tensiones nominales en el Anejo 27 del Código Estructural.

NOTA: La fatiga se ha tenido en cuenta mediante la aplicación de una carga de fatiga a un elemento con una supuesta imperfección inicial. El daño asumido es un cuarto del daño a fatiga total obtenido del Anejo 27. Esta aproximación permite la evaluación de un número mínimo de “periodos seguros” entre las inspecciones en servicio cuando en las inspecciones deba especificarse la tolerancia del daño de

acuerdo con el Anejo 27. El número requerido de inspecciones en servicio se relaciona con los coeficientes parciales de seguridad γ_{Ff} y γ_{Mf} aplicados en el cálculo a fatiga de acuerdo con el Anejo 27 por la expresión:

$n = \frac{4}{(\gamma_{Ff}\gamma_{Mf})^m} - 1,$

donde $m = 5$ para estructuras de vida útil larga tales como puentes.

El "periodo de seguridad" entre las inspecciones de servicio podrá cubrir también la vida útil completa de la estructura.

2.3.2. Determinación del máximo espesor admisible de los elementos

(1) La tabla A28.2.1 da el máximo espesor admisible de los elementos en función de tres niveles tensionales expresados como proporciones del límite elástico nominal:

a) $\sigma_{Ed} = 0{,}75 f_y(t) \left[N/_{mm^2}\right]$

b) $\sigma_{Ed} = 0{,}50 f_y(t) \left[N/_{mm^2}\right]$ (2.6)

c) $\sigma_{Ed} = 0{,}25 f_y(t) \left[N/_{mm^2}\right]$

donde:

$f_y(t)$ podrá determinarse, o bien de:

$$f_y(t) = f_{y,nom} - 0{,}25 \frac{t}{t_0} [\frac{N}{mm^2}]$$

donde:

t es el espesor de la chapa en mm y $t_0 = 1\ mm$,

o bien de tomar R_{eH^-} de las normas de aceros correspondientes.

Los valores tabulados corresponden a siete temperaturas de referencia: $+10, 0, -10, -20, -30, -40$ y $-50\ ºC$.

Tabla A28.2.1 Máximos valores admisibles del espesor del elemento *t* en mm

Tipo de acero	Subtipo	KV		Temperatura de referencia T_{Ed} [°C]																					
		a T [°C]	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
				$\sigma_{Ed} = 0{,}75\ f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0{,}50\ f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0{,}25\ f_y(t)$						
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100

NOTA 1: Podrá aplicarse una interpolación lineal de la tabla A28.2.1. La mayoría de las aplicaciones requieren valores de σ_{Ed} entre $\sigma_{Ed} = 0{,}75\ f_y(t)$ y $\sigma_{Ed} = 0{,}50 f_y(t)$. $\sigma_{Ed} = 0{,}25 f_y(t)$ se da para poder interpolar. No pueden extrapolarse los valores fuera del intervalo $[0{,}75 f_y(t), 0{,}25 f_y(t)]$.

NOTA 2: Deberá proporcionarse la temperatura de ensayo T_{KV} cuando se encarguen productos en acero S690.

NOTA 3: Los valores de la tabla A28.2.1 se han calculado para los valores garantizados de la energía del ensayo de Charpy V orientados a productos laminados.

2.4. Análisis estructural mediante la mecánica de la fractura

(1) Para el análisis estructural numérico mediante la mecánica de la fractura, los requisitos de tenacidad y la tenacidad de cálculo de los materiales podrán expresarse en términos de los valores de CTOD (Apertura del frente de fisura), valores de la integral J, valores de K_{Ic} o valores de KV y deberá realizarse una comparación adecuada utilizando los métodos mecánicos de fractura apropiados.

(2) Deberá cumplirse la siguiente condición para la temperatura de referencia:

$$T_{Ed} \leq T_{Rd} \qquad (2.7)$$

donde:

T_{Rd} es la temperatura a la que puede suponerse un nivel seguro de tenacidad de fractura bajo las condiciones evaluadas.

(3) El mecanismo de fallo potencial podrá modelarse utilizando una imperfección apropiada que reduzca la sección neta del material de modo que se haga más susceptible al fallo por fractura de la sección reducida. La imperfección deberá cumplir los siguientes requisitos:

- localización y forma deberán adecuarse a la entalladura considerada. Podrán utilizarse las tablas de clasificación de fatiga del Anejo 27 del Código Estructural como guías para la posición adecuada de las fisuras,
- para los elementos no susceptibles de fatiga, el tamaño de la imperfección deberá ser la mínima detectable en inspecciones llevadas a cabo según el Capítulo 24 de este Código Estructural. La imperfección asumida deberá disponerse en la posición de la concentración más desfavorable de tensiones,
- para los elementos susceptibles de fatiga, la dimensión de la imperfección deberá consistir en una imperfección inicial creciente con la fatiga. La dimensión de la fisura inicial deberá elegirse tal que represente un valor mínimo detectable por los métodos de inspección utilizados de acuerdo con el Capítulo 24 de este Código Estructural. El crecimiento de la fisura debido a la fatiga deberá calcularse con el modelo de mecánica de fractura apropiado utilizando cargas experimentadas durante la vida útil o en un intervalo de inspecciones (según corresponda).

(4) Si un detalle estructural no puede localizarse en una categoría de detalle específica en el Anejo 27 del Código Estructural o si se utilizan métodos más rigurosos para obtener resultados más precisos que los dados en la tabla A28.2.1, entonces podrán llevarse a cabo comprobaciones más específicas utilizando ensayos de fractura reales en muestras de ensayos a gran escala.

NOTA: El análisis numérico de los resultados de los ensayos podrá realizarse utilizando la metodología dada en el Apéndice D del Anejo 18 del Código Estructural.

3. Selección de los materiales por las propiedades del espesor

3.1. Generalidades

La clase de calidad será la Clase 1 para todos los productos de acero y todos los espesores recogidos en el Artículo 83 del Código Estructural. Deberán realizarse inspecciones tras la ejecución para identificar si se produce desgarro laminar.

(3) Deberán considerarse los siguientes aspectos en la selección de ensamblajes o conexiones de acero para prevenir ante desgarro laminar:

- la posición crítica en términos de tensiones de tracción aplicadas y el grado de redundancia,
- la deformación en la dirección del espesor del elemento en el que se realiza la conexión. Esta deformación surge de la retracción del metal soldado al enfriar. Aumenta en gran medida cuando el movimiento libre se coacciona por otras partes de la estructura,
- la naturaleza del detalle de la unión, particularmente en uniones soldadas en cruz, en T y en L. Por ejemplo, en el caso mostrado en la figura A28.3.1, la chapa horizontal podrá tener poca ductilidad en la dirección del espesor. Lo más probable es que el desgarro laminar aparezca si la deformación en la unión es en la dirección del espesor del material, que ocurre si la cara de unión es aproximadamente paralela a la superficie del material y la deformación inducida por la retracción es perpendicular a la dirección del laminado del material. Serán más susceptibles los soldeos más pesados,

- las propiedades químicas del material sometido a tensiones transversales. En particular, altos niveles de sulfuros, incluso significativamente bajo los límites normalizados del producto de acero normalizado, puede aumentar el desgarro laminar.

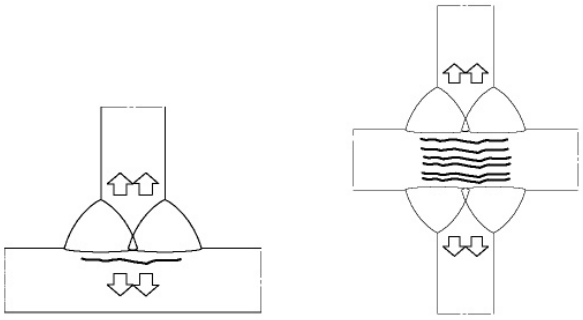


Figura A28.3.1 Desgarro laminar

(4) La susceptibilidad del material deberá determinarse midiendo la ductilidad del espesor de acuerdo con la norma UNE-EN 10164, que se expresa en términos de clase de calidad identificada por los valores Z.

NOTA 1: El desgarro laminar es un fallo por la soldadura inducido en el material que generalmente se hace evidente durante una inspección por ultrasonidos. El riesgo principal del desgarro está en uniones en cruz, en T y en L y en soldaduras de penetración completa.

NOTA 2: En la norma UNE-EN 1011-2 se proporciona una guía para evitar el desgarro laminar durante el soldeo.

3.2. Procedimiento

(1) El desgarro laminar se puede despreciar si se cumple la siguiente condición:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd} \qquad (3.1)$$

donde:

Z_{Ed} es el valor Z de cálculo requerido en función de la magnitud de las deformaciones por retracción coaccionada del metal bajo los cordones de soldadura

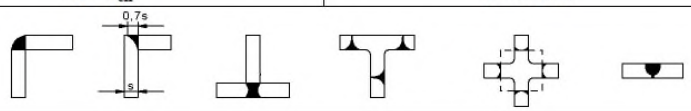
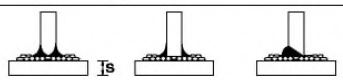
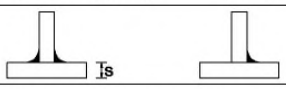
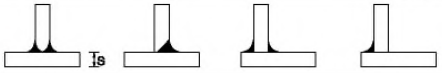
Z_{Rd} es el valor Z de cálculo disponible para el material de acuerdo con la norma UNE-EN 10164, como Z_{15}, Z_{25} o Z_{35}.

(2) El valor Z de cálculo requerido podrá determinarse aplicando:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e \qquad (3.2)$$

en la que Z_a, Z_b, Z_c, Z_d y Z_e se dan en la tabla A28.3.2.

Tabla A28.3.2 Criterios para el valor objetivo Z_{Ed}

a)	Profundidad de garganta efectiva para la deformación por retracción térmica	Profundidad de garganta efectiva a_{eff} (véase la figura 3.2)	Espesor de garganta a para soldaduras en ángulo	Z_i
		$a_{eff} \leq 7$ mm	a = 5 mm	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10$ mm	a = 7 mm	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20$ mm	a = 14 mm	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30$ mm	a = 21 mm	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40$ mm	a = 28 mm	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50$ mm	a = 35 mm	$Z_a = 15$
		$50 < a_{eff}$	a > 35 mm	$Z_a = 15$
b)	Forma y posición de las soldaduras en uniones en T, en cruz y en ángulo			$Z_b = -25$
		Uniones en ángulo 		$Z_b = -10$
		soldaduras monocapa en ángulo $Z_a = 0$ o soldaduras en ángulo con tope de metal de aportación de baja resistencia $Z_a > 1$ 		$Z_b = -5$
		soldaduras multicapa en ángulo 		$Z_b = 0$
		soldaduras con penetración completa y con penetración parcial con secuencia apropiada de soldadura para reducir los efectos de retracción 		$Z_b = 3$
		soldaduras con penetración completa y con penetración parcial 		$Z_b = 5$
		soldaduras en ángulo 		$Z_b = 8$
c)	Restricciones a la retracción por efecto del espesor s del material	$s \leq 10$mm		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20$mm		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30$mm		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40$mm		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50$mm		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60$mm		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70$mm		$Z_c = 15^*$
		$70 < s$		$Z_c = 15^*$
d)	Restricciones a la retracción por efecto remoto de otras partes de la estructura posterior a la soldadura	Coacción baja	Retracción libre (por ejemplo, uniones en T)	$Z_d = 0$
		Coacción media	Retracción limitada (por ejemplo, diafragmas en vigas cajón)	$Z_d = 3$
		Coacción alta	Retracción impedida (por ejemplo, largueros en chapas de tableros ortótropos)	$Z_d = 5$
e)	Influencia del precalentamiento	Sin precalentamiento		$Z_e = 0$
		Precalentamiento ≥ 100°C		$Z_e = -8$

* Puede reducirse un 50% para materiales comprimidos en la dirección del espesor bajo las cargas estáticas predominantes.



Figura A28.3.2 Espesor de garganta eficaz a_{eff} por retracción térmica

(3) La clase apropiada Z_{Rd} de acuerdo con la norma UNE-EN 10164 podrá obtenerse aplicando la clasificación correspondiente.

NOTA: Para la clasificación véanse los Anejos 22 y 29 del Código Estructural.