

Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales



American Welding Society®

*Traducción de la 3.^a impresión,
mayo de 2012*

AWS D17.1/D17.1M:2010

**Traducción de:
Specification for Fusion Welding
For Aerospace Applications
An American National Standard**

**Documento original aprobado por el
American National Standards Institute
18 de noviembre de 2010**

Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales

Traducción de la 2.^a edición

Reemplaza a la norma AWS D17.1:2001

Preparado por el
Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y
Aeroespacial de la American Welding Society (AWS)

Con la dirección del
Comité de Actividades Técnicas de la AWS

Documento original aprobado por la
Junta Directiva de la AWS

Resumen

Esta especificación proporciona los requisitos generales para la soldadura de piezas metálicas destinadas a la industria aeronáutica y espacial. La información incluye, pero sin carácter restrictivo, a la soldadura por fusión de aleaciones compuestas básicamente por aluminio, níquel, hierro, cobalto, magnesio o titanio mediante la utilización de procesos de arco eléctrico o rayos de alta energía. Estos requisitos contemplan el diseño de la soldadura, la calificación del personal y el procedimiento, la inspección y los criterios de aceptación de componentes para uso aeroespacial y soporte, y componentes no destinadas a ser utilizados en vuelo. La especificación también trata acerca de los requisitos adicionales de las soldaduras para la reparación de componentes existentes. También se incluye un comentario acerca de la especificación.



American Welding Society®

Número Internacional Normalizado del Libro: 978-0-87171-977-5

American Welding Society
8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166

© 2013 por American Welding Society

Todos los derechos reservados

Impreso en los Estados Unidos de América

Errata: traducción de la 3.^a impresión, mayo de 2012

Derecho a fotocopiar. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en ninguna forma ni por ningún procedimiento (mecánico, fotocopia, grabación u otro), sin la previa autorización escrita del propietario de los derechos de reproducción.

La American Welding Society concede la autorización para fotocopiar artículos para el uso exclusivo interno, personal o educativo, o el uso exclusivo interno, personal o educativo de determinados clientes, siempre que se cancele la tarifa correspondiente en el Copyright Clearance Center (Centro de Derechos de Autor) sito en 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, teléfono: (978) 750-8400; sitio de Internet: <www.copyright.com>.

Descargo de responsabilidad

Esta publicación es una traducción del American National Standard original en inglés. La única versión aprobada por el American National Standards Institute es la versión en inglés. Aunque se han llevado a cabo los máximos esfuerzos para crear una traducción precisa, AWS no garantiza la precisión o exactitud del texto, y AWS tampoco se hace responsable por ningún error, ambigüedad u omisión que aparezca en este documento como resultado de la traducción. El texto en inglés es la única versión oficial y será la cual deberá ser referida en caso de conflicto.

Disclaimer

This publication is translated from the original English version of an American National Standard. The only version approved by the American National Standards Institute is the English language version. While reasonable efforts have been made to ensure an accurate translation, AWS makes no warranty as to precision or completeness, nor is AWS responsible for any errors, omission, or ambiguities appearing in this document as a result of the translation. The English text is the only official version and shall be referred to in cases of dispute.

Declaración sobre el uso de las normas de la American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)

Todas las normas (códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, métodos, clasificaciones y guías) de la American Welding Society (AWS) son normas de consenso voluntario que han sido desarrolladas de conformidad con las reglas del American National Standards Institute (ANSI). Cuando se incorporan o anexan normas nacionales estadounidenses de la AWS a documentos bajo leyes y regulaciones estatales o federales, o bajo regulaciones de otros organismos gubernamentales, sus disposiciones portan toda la autoridad legal del estatuto. En tales casos, cualquier cambio en esas normas de la AWS deberá contar con la aprobación del organismo gubernamental que tenga jurisdicción estatutaria antes de que puedan formar parte de esas leyes y reglamentos. En todos los casos, estas normas portan toda la autoridad legal del contrato u otro documento que invoque las normas de la AWS. Donde exista esta relación contractual, los cambios o las desviaciones de los requisitos de una norma de la AWS deberán acordarse entre las partes contratantes.

Las normas nacionales estadounidenses de la AWS se producen a través de un proceso de desarrollo de normas de consenso que reúne a voluntarios que representan diversos intereses y puntos de vista para lograr el consenso. Si bien la AWS administra el proceso y establece las reglas para promover la equidad en el desarrollo del consenso, no ensaya, evalúa ni verifica independientemente la exactitud de la información ni la solidez de cualquier juicio contenido en sus normas.

La AWS se exime de la responsabilidad de cualquier daño a personas o propiedades, u otros daños de cualquier naturaleza, así sean especiales, indirectos, consecuenciales o compensatorios que resulten directa o indirectamente de esta publicación, del uso o de la dependencia de esta norma. La AWS tampoco ofrece garantía alguna sobre la exactitud o exhaustividad de la información publicada en este documento.

Al publicar y poner a disposición esta norma, la AWS no se compromete a prestar servicios profesionales o de otro tipo para, o en nombre de, cualquier persona o entidad, ni tampoco se compromete a desempeñar cualquier tarea que cualquier persona o entidad deba realizar para terceros. Cualquier persona que utilice estos documentos debe confiar en su propio juicio independiente o, en su caso, solicitar el asesoramiento de un profesional competente para determinar el ejercicio del cuidado razonable en cualquier circunstancia. Se asume que la utilización de esta norma y sus disposiciones se confían a personal debidamente calificado y competente.

Esta norma puede reemplazarse por la publicación de nuevas ediciones. Esta norma también puede corregirse mediante la publicación de modificaciones o erratas. También puede complementarse mediante la publicación de apéndices. La información sobre las últimas ediciones de las normas AWS, incluso las modificaciones, erratas y adiciones, se publican en la página de Internet de AWS (www.aws.org). Los usuarios deben verificar que poseen la última edición, modificación, corrección de errores y sus apéndices.

La publicación de esta norma no autoriza la violación de patentes o nombres comerciales. Los usuarios de esta norma aceptan toda responsabilidad por la violación de patentes o nombres comerciales. La AWS se exime de toda responsabilidad por la violación de patentes o nombres comerciales de productos que resulte de la utilización de esta norma.

La AWS no controla, supervisa ni exige el cumplimiento de esta norma, ni está facultada para hacerlo.

Ocasionalmente, el texto, las tablas o las figuras pueden haberse impreso incorrectamente, lo que constituye una errata. Cuando se descubren, dichas erratas se publican en la página web de la AWS (www.aws.org).

Las interpretaciones oficiales de cualquiera de los requisitos técnicos de esta norma se podrán obtener únicamente mediante el envío de una solicitud escrita al comité técnico correspondiente. Dichas solicitudes deberán dirigirse a la American Welding Society, atención: Managing Director, Technical Services Division, 8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166 (véase el apéndice F). Con respecto a las consultas técnicas formuladas sobre las normas de la AWS, se pueden ofrecer opiniones verbales sobre dichas normas. Estas opiniones se ofrecen sólo como una colaboración con los usuarios de esta norma y no constituyen un asesoramiento profesional. Tales opiniones representan únicamente la opinión personal de las personas que las ofrecen. Estas personas no hablan en nombre de la AWS, como así tampoco estas opiniones verbales constituyen opiniones ni interpretaciones oficiales ni no oficiales de la AWS. Además, las opiniones verbales son informales y no se deben emplear como sustituto de una interpretación oficial.

Esta norma está sujeta a revisión en cualquier momento por parte del Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS. Se deberá revisar cada cinco años y en caso contrario se deberá ratificar o retirar. Se agradecerá cualquier comentario (recomendaciones, adiciones o supresiones) así como cualquier otra información pertinente que pueda ser útil para mejorar esta norma, que deben enviarse a la sede de la AWS. Tales comentarios recibirán atenta consideración por parte del Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS y el autor de los comentarios recibirá información acerca de la respuesta del Comité a dichos comentarios. Se convoca a los invitados a asistir a las reuniones del Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS para expresar verbalmente sus comentarios. Los procedimientos para la apelación de una decisión adversa relativa a dichos comentarios figuran en las Reglas de funcionamiento del Comité de Actividades Técnicas. Se puede obtener una copia de estas reglas en la American Welding Society, 8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166.

Personal

Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS

S. H. Murray, Presidente	<i>NASA—Kennedy Space Center</i>
G. W. Coleman, 1 ^{er} Vicepresidente	<i>The Boeing Company</i>
D. S. Ponder, 2 ^{do} Vicepresidente	<i>Triumph Airborne Structures</i>
R. J. Ding, 3 ^{er} Vicepresidente	<i>NASA—Marshall Space Flight Center</i>
M. C. Rubin, Secretario	<i>American Welding Society</i>
J. T. Amin	<i>Lockheed Martin Aeronautics Company</i>
R. Beil	<i>Northrop Grumman Corporation</i>
P. J. Cecil	<i>The Boeing Company</i>
P. Daum	<i>Rolls-Royce Corporation</i>
H. S. Dilcher, III	<i>Lockheed Martin Aeronautics Company</i>
R. J. Durda	<i>Spirit AeroSystems</i>
J. Fournier	<i>Pratt & Whitney Canada</i>
E. C. Helder	<i>GE Aircraft Engines</i>
D. Lindland	<i>Pratt & Whitney</i>
R. B. Maust, III	<i>Raytheon Integrated Defense Systems</i>
M. C. Nordin	<i>Rolls-Royce Corporation</i>
M. E. Sapp	<i>NAVAIR In-Service Support Center—Cherry Point</i>
C. Sauer	<i>NAVAIR In-Service Support Center—Cherry Point</i>
W. R. Schell	<i>Materials and Process Technology</i>
D. Senatore	<i>Wulco, Incorporated</i>
G. E. Trepus	<i>Boeing Commercial Airplanes</i>
J. G. Vollmer	<i>Boeing Launch Systems</i>

Asesores del Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS

D. E. Bell	<i>Boeing Product Standards</i>
H. D. Bushfield	<i>Bushfield Associates</i>
W. Collier	<i>Delta Airlines Tech OPS</i>
R. Freeman	<i>TWI-The Welding Institute</i>
W. P. Garrison	<i>Pratt & Whitney</i>
A. Guinasso	<i>The Boeing Company</i>
I. D. Harris	<i>Edison Welding Institute</i>
J. B. Jackson	<i>NASA—Glenn Research Center</i>
E. M. Lorence	<i>Aircraft Welding & Manufacturing Company</i>
G. Loy-Kraft	<i>Oklahoma Air Logistics Center, Tinker AFB</i>
M. J. Lucas, Jr.	<i>Belcan Corporation</i>
A. Openshaw	<i>Atlantic Research Corporation</i>
J. B. Pearson, Jr.	<i>LTK Engineering Services</i>
C. K. Russell	<i>NASA—Marshall Space Flight Center</i>
G. J. Stahle	<i>National Alabama Corporation</i>
M. E. Webber	<i>Raytheon Integrated Defense Systems</i>
B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>

Subcomité D17K sobre Soldadura por Fusión de la AWS

R. P. Beil, Chair	<i>Northrop Grumman Corporation</i>
J. T. Amin, Vicepresidente	<i>Lockheed Martin Aeronautics Company</i>
D. A. Senatore, 2 ^{do} Vicepresidente	<i>Wulco, Incorporated</i>
M. C. Rubin, Secretario	<i>American Welding Society</i>

C. Carl	<i>NASA—Kennedy Space Center</i>
P. J. Cecil	<i>The Boeing Company</i>
G. W. Coleman	<i>The Boeing Company</i>
P. E. Daum	<i>Rolls-Royce Corporation</i>
H. S. Dilcher, III	<i>Lockheed Martin Aeronautics Company</i>
M. W. Elsemore	<i>The Boeing Company</i>
E. C. Helder	<i>GE Aircraft Engines (retirado)</i>
D. Lindland	<i>Pratt & Whitney</i>
M. J. Lucas, Jr.	<i>Belcan Engineering</i>
R. B. Maust, III	<i>Raytheon Integrated Defense Systems</i>
L. D. Morris	<i>Raytheon Corporation</i>
S. H. Murray	<i>NASA—Kennedy Space Center</i>
D. S. Ponder	<i>Triumph Airborne Structures</i>
M. E. Sapp	<i>NAVAIR In-Service Support Center—Cherry Point</i>
C. Sauer	<i>NAVAIR In-Service Support Center—Cherry Point</i>
G. E. Trepus	<i>Boeing Commercial Airplanes</i>

Consejeros del Subcomité D17K sobre Soldadura por Fusión de la AWS

L. M. Bower	<i>Blackhawk Technical College</i>
W. Collier	<i>Delta Airlines Technical Operations</i>
R. Freeman	<i>TWI-The Welding Institute</i>
W. P. Garrison	<i>Pratt and Whitney</i>
J. B. Jackson	<i>NASA—Glenn Research Center</i>
E. M. Lorence	<i>Aircraft Welding & Manufacturing Company</i>
G. Loy – Kraft	<i>Oklahoma Air Logistics Center, Tinker AFB</i>
L. P. Perkins	<i>USAF</i>
C. K. Russell	<i>NASA—Marshall Space Flight Center</i>
J. G. Vollmer	<i>The Boeing Company</i>
B. D. Wright	<i>Advantage Aviation Technologies</i>
D. A. Wright	<i>Wright Welding Technologies</i>

Prefacio

Este prefacio no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, pero se incluye únicamente para fines informativos.

Las especificaciones de las soldaduras utilizadas en aviación dependían fundamentalmente de las normas del gobierno para sus contratos y se basaban en la tecnología de soldadura existente en la década de 1950. Estas especificaciones eran la MIL-W-8611 (acero), MIL-W-8604 (aluminio), MIL-W-18326 (magnesio) y la MIL-5021-T que establecía el rendimiento del soldador. En 1977, la industria aeronáutica y aeroespacial, y el gobierno decidieron actualizar algunos de estas normas mediante el reemplazo de la norma que calificaba el rendimiento del soldador, MIL-T-5021, por la norma MIL-STD-1595. Esta norma fue publicada como un suplemento de la sección IX del código de ASME en 1977 y posteriormente, en 1983, fue revisada y reemplazada por la norma MIL-STD-1595A. La primera actualización de las especificaciones del proceso de soldadura de 1950 vio la luz con la norma MIL-W-8604A en 1982, casi 30 años después de su edición inicial. Las especificaciones de soldadura de materiales MIL-W-8604, MIL-W-8611 y MIL-W-18326 se consolidaron en la norma MIL-STD-2219 en el año 1988 y representa el cambio más importante a las normas para soldaduras de uso aeronáutico en más de 30 años.

Después de dos intentos fallidos para cambiar las normas militares, la American Welding Society junto con la industria específica, propuso una reunión para desarrollar una especificación de alcance nacional. El personal de la industria aeronáutica vinculado con la soldadura se reunió en el otoño de 1993 para sentar las bases de una especificación nacional acerca del uso de la soldadura por fusión en las industrias aeronáutica y espacial para reemplazar las normas MIL-STD-1595A y MIL-STD-2219. Esta reunión dio lugar a la formación del Comité D17 sobre Soldaduras para las Industrias Aeronáutica y Aeroespacial de la AWS. El tema excluyente que los miembros del comité de soldadura trajeron a la mesa fue el reconocimiento de que se habían producido cambios en la industria aeronáutica. Esos cambios afectaron a los procesos y procedimientos de soldadura, los tipos de metales base y de aporte, la calidad y el equipo de inspección, solo para nombrar algunos aspectos. Desde la década de 1950, las especificaciones de soldadura no habían mantenido un nivel, durante los procesos de revisión, que reflejara los cambios tecnológicos. La redacción de esta especificación fue una gran oportunidad para la industria y el gobierno para crear un documento que incluyera esos cambios. Esta especificación representa varios años de trabajo en los que convergen los esfuerzos de la industria y el consenso del comité para que las industrias aeronáutica y espacial en su conjunto reconocieran los avances tecnológicos en los procesos y materiales para soldadura. Este documento incluye la tecnología de soldadura reconstructiva que permite el uso de soldaduras de reparación más allá de las áreas originalmente diseñadas para una soldadura.

De acuerdo con los avances tecnológicos en los procesos y materiales para soldadura, este comité se ha comprometido a producir otras especificaciones de soldadura según sea necesario, incluso para los procesos de soldadura por resistencia (RW) y por fricción (FSW), para satisfacer las demandas siempre cambiantes de las soldaduras empleadas en las industrias aeronáutica y espacial.

Los cambios en esta edición de D17.1 son los siguientes:

- (1) Cambio de nombre de los documentos aplicables a las referencias normativas en la sección 2;
- (2) Reubicación de los términos y definiciones de un apéndice a la sección 3;
- (3) Actualización de las unidades estándar de medida para reflejar ambos sistemas de unidades, el comúnmente utilizado en los EE. UU. y el Sistema Internacional (SI);
- (4) Actualización de la Figura 5.1 para reflejar el espacio para los resultados y las restricciones de la prueba de doblado;
- (5) Actualización de los párrafos 5.3.3.1 (2) y 5.3.3.1 (3) con notas para de aclaración;
- (6) Actualización de los métodos de inspección de soldaduras de Clase A;
- (7) Se han insertado subsecciones en la sección 5.4, Especificación del procedimiento de soldadura (WPS), que definen con mayor claridad las variables esenciales, los métodos de prueba para la calificación WPS y los formularios de registro de pruebas (figuras 5.13 y 5.14);
- (8) Se agregó el apéndice C de las normativas que cubre los criterios para la prueba de doblado;
- (9) Se agregaron referencias informativas al apéndice D.

Las áreas subrayadas en el texto o en las tablas indican cambios con respecto a la edición anterior de la correspondiente versión en inglés. Una línea vertical en el margen junto a una figura, ecuación u otro elemento indica una revisión de ese elemento con respecto a la edición anterior.

Enmiendas

Las siguientes enmiendas se han identificado y se incorporan en esta impresión.

Norma de AWS: D17.1/D17.1M:2010

Enmienda n.º: 1

Asunto: Tabla 7.1 Criterios de aceptación pulg. [mm], falta de llenado de cara o de raíz (soldaduras de ranura), defecto individual: profundidad máxima

Tabla 7.1
Criterios de aceptación pulg. [mm]

Falta de llenado de cara o de raíz (soldaduras de ranura)			
Defecto individual:	0.07 T o 0.030 [0.76]	0.10 T o 0.050 [1.27]	0.20 T o 0.070 [1.78]
profundidad máxima	el que sea menor	el que sea menor	el que sea menor

Errata

La siguiente errata ha sido identificada y será incluida en la próxima reimpresión de este documento.

Página 9—**Figura 5.1, S.S. No.**—*Eliminación de “S.S. No.”* de la parte superior del formulario de registro de pruebas sugerido.

Página 11—**Tabla 5.2, Muestras de las aleaciones contenidas en los grupos de materiales I a VIII^a**—*Corrección:* “Ti-6Al-4V 2/” en “Ti-6Al-4V”

Página 18—**Figura 5.7, 8[200]**—*Eliminación de “ “ “ después de “8 [200]”*

Página 18—**Figura 5.7, Nota**—*Corrección:* “Dimensión sugerida” en “Cuando el espesor del miembro difiera en más del 10% del miembro más grueso, el ala será el miembro más grueso”

Página 18—**Figura 5.7, Nota al pie a**—*Corrección:* “Cuando el espesor del miembro difiera en más del 10% del miembro más grueso, el ala será el miembro más grueso” en “Dimensión sugerida”

Página 22—**5.4.2 Calificación del procedimiento, secuencia de numeración**—*Corrección:* “(8) metal de aporte utilizado” en “(9) metal de aporte utilizado”, “(9) diseño de la junta” en “(10) diseño de la junta”, “(10) características eléctricas” en “(11) características eléctricas”, “(11) requisitos del precalentamiento” en “(12) requisitos del precalentamiento”, “(12) requisitos del calentamiento posterior a la soldadura” en “(13) requisitos del calentamiento posterior a la soldadura” y “(13) otras variables requeridas por el Responsable de Ingeniería” en “(14) otras variables requeridas por el Responsable de Ingeniería”

Página 34—**Tabla 7.1, Desajuste entre los miembros después de la soldadura**—*Corrección:* “Consulte el párrafo 6.14.4 y la Figura 6.2 Incluye las clases de soldadura A, B y C” en “Consulte el párrafo 7.5.2.1 y la Figura 7.2 Incluye las clases de soldadura A, B y C”

Página 36—**Figura 7.1, ANCHO DE LA CARA DE LA SOLDADURA O DE LA SUPERFICIE DE UN CORDÓN INDIVIDUAL, W**—*Corrección:* “ $W > 5/16$ pulg. A $W < 1$ pulg. [25 mm]” en “ $W > 5/16$ pulg. [8 mm] A $W < 1$ pulg. [25 mm]”

Página 36—**Figura 7.1, Nota al pie a**—*Corrección:* “a Consulte el párrafo 4.3.8.2” en “a Consulte el párrafo 5.3.8.2”

Página 37—**Figura 7.2, Línea horizontal adicional en la tabla**—*Eliminación de la línea horizontal entre* “OFW, SMAW, GTAW, GMAW” y “PAW, VP-PAW, FCAW, SAW”

Página 49—**Figura A.1(d), Falta línea horizontal en la tabla**—*Agregado de línea horizontal entre* “PAW” y “GMAW FCAW SAW”

Página 58—**Tabla A.1, Tamaño de la soldadura de filete comparable para obtener la misma resistencia (pulg. [mm])**—*Corrección:* “1,23 [21,2]” en “1,23 [31,2]”

Página 62—**Tabla C.1, Grupo de metal base**—*Corrección:* “Ia” en “IA”, “Ib” en “IB”, “IIa” en “IIA”, “IIb” en “IIB”, “IIIb” en “IIIB”

Página 62—**Tabla C.1, Número unificado y descripción común**—*Eliminación de* “Aceros inoxidables S15500 y 15-5PH”, “Aceros inoxidables S17400 y 17-4PH”, “Aceros inoxidables S35000 y AM350 PH”, “Aceros inoxidables S35000 y AM355 PH”, “Aceros especiales S45000 y 450”, “Aceros especiales S45500 y 455”

Página 65—**Tabla C.3, Falta línea en la tabla**—*Agregado de línea vertical entre* “T1” y “W”, “Máx.” y “Mín.” y entre “6” y “7”

Página 82—**G4.14 Soldadura y conjuntos soldados**—*Corrección:* “La Figura 6.2 define el desajuste máximo en la junta de soldadura terminada.” en “La Figura 7.2 define el desajuste máximo en la junta de soldadura terminada.”

Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.

Índice

Pág. N.º

<i>Descargo de responsabilidad</i>	iii
<i>Declaración sobre el uso de las normas de la American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)</i>	iv
<i>Personal</i>	v
<i>Prefacio</i>	vii
<i>Lista de tablas</i>	xiii
<i>Lista de figuras</i>	xiii
1. Alcance y requisitos generales	1
1.1 Alcance	1
1.2 Clasificación	1
1.3 Aprobación	2
1.4 Disposiciones obligatorias y autorizaciones	2
1.5 Unidades estándar de medida	2
1.6 Seguridad y salud	2
2. Referencias normativas	2
2.1 Documentos gubernamentales	2
2.2 Documentos no gubernamentales	3
3. Términos y definiciones	4
4. Diseño de uniones soldadas	6
4.1 Alcance	6
4.2 Datos de diseño de elementos soldados	6
4.3 Requisitos generales de los planos	6
5. Calificación del rendimiento y el procedimiento de soldadura	7
5.1 Descripción general	7
5.2 Requisitos generales (rendimiento)	7
5.3 Requisitos detallados (rendimiento)	8
5.4 Calificación del procedimiento de soldadura (Procedimiento)	22
6. Construcción	24
6.1 Alcance	24
6.2 Consumibles para soldadura	24
6.3 Equipos de soldadura	27
6.4 Ajustes de soldadura	27
6.5 Limpieza y otros preparativos previos a la soldadura	27
6.6 Preparación y ajustes de la junta previos a la soldadura	27
6.7 Control de las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas	28
6.8 Soldaduras de punteado	28
6.9 Lengüetas de inicio y terminación de la soldadura	28
6.10 Protección de la soldadura en los procesos GTAW, GMAW y PAW	28
6.11 Electrodo de tungsteno	28
6.12 Materiales de aporte	29
6.13 Limpieza entre pasadas	29
6.14 Soldadura y conjuntos soldados	29
6.15 Limpieza posterior a la soldadura	31

6.16	Procesamiento posterior a la soldadura	31
6.17	Requisitos de identificación de soldaduras	31
6.18	Inspección de aceptación	31
6.19	Reelaboración	31
6.20	Reparación	32
6.21	Requisitos de registro	32
7.	Inspección	32
7.1	Calificación del personal de inspección	32
7.2	Pruebas de la vista	32
7.3	Inspección visual de soldaduras	32
7.4	Inspección no destructiva	32
7.5	Criterios de aceptación	33
7.6	Registros de inspección	37
8.	Reparación de estructuras existentes	37
8.1	Alcance	37
8.2	Diseño	38
8.3	Procedimientos de soldadura	38
8.4	Calificación de soldadores y operarios de soldadura	39
8.5	Equipos de soldadura	39
8.6	Inspección de soldaduras de reparación	39
8.7	Conexión a tierra	39
8.8	Documentación de la reparación	39
9.	Componentes no destinados a ser utilizados en vuelo	39
9.1	Alcance	39
9.2	Excepciones y requisitos adicionales	39
	Apéndice A (normativo) — Directrices para el diseño, análisis y fabricación de juntas para soldadura	45
	Apéndice B (normativo) — Garganta efectiva	59
	Apéndice C (normativo) — Criterios para la prueba de doblado	61
	Apéndice D (informativo) — Referencias informativas	69
	Apéndice E (informativo) — Prácticas seguras	71
	Apéndice F (informativo) — Directrices para la preparación de consultas técnicas	75
	Apéndice G (informativo) — Comentarios	77

Lista de tablas

Tabla	Pág. N.º
5.1	Procesos de soldadura por fusión 8
5.2	Muestras de las aleaciones contenidas en los grupos de materiales I a VIII. 10
5.3	Posición de soldadura, forma del metal base y metal base, calificados por una soldadura de prueba 12
5.4	Otras condiciones de soldadura calificadas por una soldadura de prueba 17
5.5	<u>PQR de los requisitos de prueba</u> 24
6.1	Requisitos del gas 26
6.2	Gases de protección recomendados para soldadura 26
6.3	Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas 29
6.4	Metal de aporte para soldadura en aleaciones de aluminio mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW 29
6.5	Metal de aporte para soldadura en aleaciones de titanio mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW 29
6.6	Metal de aporte para soldadura de aleaciones de acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW 30
7.1	Criterios de aceptación (pulg. [mm]) 33
9.1	Códigos y especificaciones industriales sugeridos para la soldadura de componentes aeroespaciales no destinados a ser utilizados en vuelo 40
A.1	Tamaño equivalente del cateto de la soldadura de filete para juntas en T en ángulo oblicuo 58
C.1	Metales base para los cuales no se puede aplicar la prueba de doblado 62
C.2	Espesor de la probeta para la prueba de doblado y radio de curvatura (pulg.) 63
C.2M	Espesor de la probeta para la prueba de doblado y radio de curvatura (mm) 64
C.3	Probetas para prueba de doblado de soldaduras de ranura en tubos 65

Lista de figuras

Figura	Pág. N.º
5.1	<u>Formulario sugerido para el registro de pruebas</u> 9
5.2	Soldadura de ranura en láminas: posiciones 1G, 2G, 3G y 4G 13
5.3	Soldadura de filete en láminas: posiciones 1F, 2F, 3F y 4F 14
5.4	Soldadura de ranura en tubos: posiciones 1G, 2G, 5G y 6G 15
5.5	Soldadura de filete en tubos: posiciones 1F, 2F, 4F y 5F 16
5.6	Prueba de soldadura de ranura en láminas 17
5.7	Prueba de soldadura de filete en láminas 18
5.8	Prueba de soldadura de ranura en tubos 19
5.9	Prueba de soldadura de filete en tubos 19
5.10	Ubicación de los cortes para obtención de muestras de probeta para pruebas metalográficas en una soldadura de filete en láminas 20
5.11	Ubicación de los cortes para obtención de muestras de probeta para pruebas metalográficas en una soldadura de filete en un tubo 20
5.12A	Fusión incompleta de raíz en soldaduras de filete cuando el espesor de ambos miembros es mayor de 0,063 pulg. [1,6 mm] 21
5.12B	Fusión incompleta de raíz en soldaduras de filete cuando el espesor de ambos miembros es menor de 0,063 pulg. [1,6 mm] 21
5.13	Formulario de la Especificación del procedimiento de soldadura (WPS). 23
5.14	<u>Formulario del Registro de la calificación del procedimiento (PQR)</u> 25

6.1	Preparación de la junta en miembros de distinto espesor	28
7.1	Perfiles de soldadura aceptables e inacceptables	36
7.2	Desajuste entre los miembros de la junta después de la soldadura	37
A.1(a)	Juntas a tope con ranura en escuadra	46
A.1(b)	Juntas para soldadura de ranura con bisel simple	47
A.1(c)	Juntas para soldadura de ranura en V simple	48
A.1(d)	Juntas para soldadura de ranura en J simple	49
A.1(e)	Juntas para soldadura de ranura en U simple	50
A.1(f)	Juntas para soldadura de ranura con bisel doble	51
A.1(g)	Juntas para soldadura de ranura en V doble	52
A.1(h)	Juntas para soldadura de ranura en J doble	53
A.1(i)	Juntas para soldadura de ranura en U doble	54
A.2	Juntas para soldadura en T de dos o tres piezas – Soldaduras con perforación por fusión	55
A.3(a)	Juntas pestañadas	55
A.3(b)	Juntas de bordes pestañados (no estándar)	56
A.4	Detalles de la soldadura de filete	57
B.1	Garganta efectiva	59
C.1	<u>Probetas para prueba de doblado de soldadura de ranura en tubos</u>	67

Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales

1. Alcance y requisitos generales

1.1 Alcance. Esta especificación contiene los requisitos para la soldadura por fusión de componentes utilizados en la industria aeroespacial. Deberá ser utilizada junto con los manuales de diseño del Responsable de Ingeniería o con la información aceptada. Cuando la conformidad con esta especificación esté estipulada en la documentación del contrato, todas las disposiciones de esta especificación deberán ser cumplidas, no así aquellas disposiciones específicamente exceptuadas por el Responsable de Ingeniería o por los documentos contractuales, o por las disposiciones opcionales que podrían ser aplicadas si así lo especifican los documentos del contrato.

El siguiente es un resumen de las secciones de la especificación:

Sección 1. **Alcance y requisitos generales:** información básica sobre el alcance y las disposiciones de esta especificación.

Sección 2. **Referencias normativas:** una lista de los documentos requeridos para la aplicación de esta especificación.

Sección 3. **Términos y definiciones:** una lista de términos y definiciones técnicas de importancia particular para esta especificación.

Sección 4. **Diseño de uniones soldadas:** requisitos e información de orientación para el diseño de las conexiones soldadas.

Sección 5. **Calificación del rendimiento y el procedimiento de soldadura:** requisitos para la calificación de soldadores, operarios de soldadura y procedimientos de soldadura.

Sección 6. **Construcción:** requisitos para la preparación, montaje y la mano de obra para la ejecución de soldaduras en componentes aeroespaciales.

Sección 7. **Inspección:** criterios para la calificación de los inspectores, las responsabilidades de los inspectores, la aceptación de las soldaduras de producción y los requisitos de la norma para la realización de inspecciones visuales y ensayos no destructivos (NDE).

Sección 8. **Reparación de estructuras existentes:** requisitos para la reparación de componentes aeroespaciales existentes.

Sección 9. **Soldadura de componentes aeroespaciales no destinados a ser utilizados en vuelo:** requisitos para la soldadura de componentes no destinados a ser utilizados en vuelo.

1.1.1 Componentes destinados a ser utilizados en vuelo. El objetivo fundamental de esta especificación es establecer los requisitos generales para los procesos y materiales actualmente reconocidos empleados en la soldadura por fusión en aplicaciones aeroespaciales. Sin embargo, esta especificación tiene en cuenta la aplicación de nuevos materiales, nuevos procesos de soldadura o criterios de aceptación para soldaduras de producción diferentes de los definidos en esta especificación. Estas nuevas aplicaciones serán documentadas por el proponente y aprobadas por el Responsable de Ingeniería.

1.1.1.1 Aviones, helicópteros y motores sujetos a los reglamentos de la FAA. Al aplicar técnicas de soldadura en el diseño, construcción y reparación de aviones, helicópteros o motores sujetos a los reglamentos de la FAA, el Responsable de Ingeniería debe realizar los análisis de diseño apropiados e imponer medidas de control de los procesos que aseguren el cumplimiento de los requisitos pertinentes del Título 14 del Código de Regulaciones Federales.

1.1.2 Componentes destinados a no ser utilizados en vuelo. Los componentes destinados a no ser utilizados en vuelo, el herramental, los equipos de apoyo en tierra y las instalaciones aeroespaciales no convencionales relacionadas, deberán estar diseñados y soldados de acuerdo con los requisitos de la Sección 9.

1.2 Clasificación. Todas las soldaduras producidas de acuerdo con esta especificación serán clasificadas en los planos de ingeniería. Las clasificaciones de las soldaduras deben ser las siguientes: Clase A, Clase B o Clase C. Estas clasificaciones se refieren al nivel de inspección requerida y los criterios de aceptación. También pueden ser aplicados criterios de aceptación y métodos de inspección alternativos siempre que hayan sido especificados en los planos de ingeniería. El Responsable de Ingeniería también determinará los requisitos para la calificación de los procedimientos de soldadura (vea el Apéndice G—Comentarios).

1.2.1 Determinación de las clasificaciones. El Responsable de Ingeniería deberá tener en cuenta los aspectos materiales y los procesos que afectan los requisitos de la misión o del sistema. Una junta de soldadura puede ser dividida en varias clasificaciones.

1.2.2 Criterios. El Responsable de Ingeniería determinará los requisitos para la calificación de los procedimientos de soldadura para todas las clasificaciones de acuerdo a lo expresado en la Sección 5. Si el Responsable de Ingeniería determina que para ciertas aplicaciones, conjuntos soldados u otras circunstancias particulares se requieren criterios de aceptación alternativos, estos deberán estar especificados en los planos de ingeniería.

1.3 Aprobación. Todas las referencias a la necesidad de aprobación serán interpretadas como necesidad de aprobación por parte del cliente o del Responsable de Ingeniería. En lo sucesivo, el término “Responsable de Ingeniería” será utilizado y se ha de interpretar como el cliente o el Responsable de Ingeniería.

1.4 Disposiciones obligatorias y autorizaciones. Nada en esta especificación reemplaza a las leyes y reglamentos pertinentes a menos que haya una exención específica obtenida con anterioridad a la fecha de contratación o de una modificación del contrato.

1.4.1 Disposiciones obligatorias. La mayoría de las disposiciones de esta especificación son obligatorias cuando se haya invocado el empleo de esta especificación. Algunas disposiciones son opcionales y solo se aplican cuando hayan sido incluidas en los documentos contractuales para un proyecto específico. La información de orientación está indicada por las palabras “debe” o “puede”.

1.4.2 Valor de los planos. Cuando los requisitos de esta especificación entren en conflicto con los planos, los requisitos indicados en los planos tendrán prioridad.

1.4.3 Valor de la especificación. En el caso de que exista un conflicto entre el texto de esta especificación y las referencias citadas en el presente documento, el texto de esta especificación tiene prioridad.

1.5 Unidades estándar de medida. Esta norma hace uso de ambos sistemas de unidades, el comúnmente utilizado en los EE. UU. y el Sistema Internacional (SI). Estas últimas se muestran entre corchetes ([]) o en las columnas correspondientes de las tablas y figuras. Las medidas pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema debe usarse de manera independiente.

1.6 Seguridad y salud Los problemas de seguridad y salud, y sus aspectos relacionados no están dentro del alcance de esta norma y no han sido completamente tratados en este documento. La información sobre seguridad y salud está disponible en documentos de otras organizaciones entre las que se puede mencionar la ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes* (Seguridad de los procesos de soldadura, corte y afines) y leyes federales, estatales y locales.

Además, los usuarios de equipos de soldadura por haz de electrones deben seguir los requisitos de seguridad contenidos en la última edición de la norma AWS C7.1, *Recommended Practices for Electron Beam Welding* (Prácticas recomendadas para soldadura por haz de electrones), y los usuarios de equipos de soldadura por rayo láser deben seguir los requisitos de seguridad establecidos en la última edición de la norma AWS C7.2, *Recommended Practices for Laser Beam Welding, Cutting and Drilling* (Prácticas recomendadas para soldadura, corte y perforación por láser). Vea también el Apéndice E.

NOTA: esta especificación puede incluir el manejo de materiales, operaciones y equipos peligrosos. La especificación no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. El usuario es el responsable de establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud. El usuario debe determinar la aplicabilidad de cualquier limitación reguladora antes del uso.

2. Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que, a través de su referencia en este documento, constituyen disposiciones obligatorias de esta norma AWS. En el caso de que en las referencias no conste su fecha, se aplicará la última edición de la norma de consulta. En el caso de que en las referencias conste su fecha, las revisiones o las modificaciones posteriores de la citada publicación no serán aplicables.

2.1 Documentos gubernamentales

Especificaciones, normas y manuales federales y militares:¹

1. BB-O-925, *Oxygen, Technical, Gas and Liquid* (Oxígeno para usos industriales, gas y líquido);
2. BB-A-106, *Acetylene, Technical, Dissolved* (Acetileno para usos industriales, disuelto);
3. BB-C-101, *Carbon Dioxide, (CO₂): Technical and U.S.P.* (Dióxido de carbono, (CO₂): usos industriales y medicinales (U.S.P.));
4. BB-N-411, *Nitrogen, Technical* (Nitrógeno para usos industriales);

¹ A menos que se indique lo contrario, las especificaciones, normas y manuales federales y militares son publicados por DODSSP, 700 Robbins Avenue, Bldg. 4D, Philadelphia, PA 19111-5094.

5. BB-H-886, *Hydrogen* (Hidrógeno);
6. BB-H-1168, *Helium, Technical* (Helio para usos industriales);
7. MIL-A-18455, *Argon, Technical* (Argón para usos industriales); y
8. *Code of Federal Regulations, Title 14, Aeronautics and Space* (Código de Regulaciones Federales, Título 14, Aeronáutica y espacio).²

2.2 Documentos no gubernamentales

Documento de la Aerospace Industries Association (AIA) (Asociación de la Industria Aeroespacial):³

1. NAS 410, *NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel* (Norma NAS para la certificación y calificación del personal de ensayos no destructivos).

Documento del American National Standards Institute (ANSI):⁴

1. ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting and Allied Processes* (Seguridad de los procesos de soldadura, corte y afines).

Documentos de la American Society of Mechanical Engineers (ASME):⁵

1. ASME B31.1, *Code for Pressure Piping* (Código para tuberías a presión); y
2. ASME B31.3, *Process Piping* (Tuberías de proceso).

Documentos de la American Society for Testing and Materials (ASTM):⁶

1. ASTM E164, *Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments* (Práctica estándar para el ensayo de soldaduras de contacto por ultrasonido);
2. ASTM E1742, *Practice for Radiographic Examination* (Práctica para el ensayo radiográfico);
3. ASTM E1417, *Standard Practice for Liquid Penetrant Examination* (Prácticas estándar para el ensayo con líquido penetrante); y
4. ASTM E1444, *Standard Practice for Magnetic Particle Examination* (Práctica estándar para el ensayo con partículas magnéticas).

Documentos de la American Welding Society (AWS):⁷

1. AWS A2.4, *Símbolos estándar para la soldadura, la soldadura fuerte y los ensayos no destructivos*;
2. AWS A3.0M/A3.0, *Definiciones y términos estándar de las soldaduras incluidos los términos para junta adhesiva, soldadura fuerte, soldadura blanda, corte térmico y termorrociado*;
3. AWS A5.1/A5.1M, *Specification for Carbon Steel Electrodes, for Shielded Metal Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con electrodo metálico protegido);
4. AWS A5.5/A5.5M, *Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Shield Metal Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero de baja aleación para soldadura por arco con electrodo metálico protegido);
5. AWS A5.12M/A5.12 (ISO 6848 MOD), *Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting* (Especificación para electrodos de tungsteno o de tungsteno aleado para soldadura y corte por arco);
6. AWS A5.20/A5.20M, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero al carbono para soldadura por arco con núcleo de fundente);
7. AWS A5.29/A5.29M, *Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding* (Especificación de electrodos de acero de baja aleación para soldadura de arco con núcleo de fundente);
8. AWS A5.30/A5.30M, *Specification for Consumable Inserts* (Especificación de insertos consumibles);
9. AWS A5.32/A5.32M, *Specification for Welding Shielding Gases* (Especificación de gases protectores para aplicaciones de soldadura);

² El Código de Regulaciones Federales es publicado por la U.S. Government Printing Office, Superintendent of Documents, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA 15250-7954.

³ Las normas AIA son publicadas por la Aerospace Industries Association, 1000 Wilson Boulevard, Suite 1700, Arlington, VA 22209-3928.

⁴ La norma ANSI Z49.1 es publicada por la American Welding Society, 8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166.

⁵ Las normas ASME son publicadas por la American Society of Mechanical Engineers, 3 Park Ave., New York, NY 10016.

⁶ Las normas ASTM son publicadas por la American Society of Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2950.

⁷ Las normas AWS son publicadas por la American Welding Society, 8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166.

10. AWS QC1, *Norma para la certificación AWS de inspectores de soldaduras*; y

11. AWS B5.2 *Specification for the Qualification of Weld Inspector Specialists and Welding Inspector Assistants* (Especificación para la calificación de inspectores especialistas de soldadura e inspectores asistentes de soldadura).

Documentos de la Compressed Gas Association (CGA) (Asociación de Gas Comprimido):⁸

1. CGA G-1.1, *Commodity Specification for Acetylene* (Especificación de las características y manejo del acetileno);
2. CGA G-4.3, *Commodity Specification for Oxygen* (Especificación de las características y manejo del oxígeno);
3. CGA G-5.3, *Commodity Specification for Hydrogen* (Especificación de las características y manejo del hidrógeno);
4. CGA G-6.2, *Commodity Specification for Carbon Dioxide* (Especificación de las características y manejo del dióxido de carbono);
5. CGA G-9.1, *Commodity Specification for Helium* (Especificación de las características y manejo del helio);
6. CGA G-10.1, *Commodity Specification for Nitrogen* (Especificación de las características y manejo del nitrógeno);
7. CGA G-11.1, *Commodity Specification for Argon* (Especificación de las características y manejo del argón);

3. Términos y definiciones

Los términos de soldadura usados en esta especificación deberán ser interpretados de acuerdo con las definiciones dadas en la última edición de AWS A3.0, *Definiciones y términos estándar de las soldaduras, incluidos los términos para junta adhesiva, soldadura fuerte, soldadura blanda, corte térmico y termorrociado, complementados con los siguientes términos y definiciones:*

almohadillado. Vea el término preferido **aumento en la sección de la junta soldada (para refuerzo)**.

a prueba de fallas. Una pieza se define como a prueba de fallas si se puede demostrar mediante análisis o prueba que, debido a la redundancia estructural, la estructura remanente después de la falla de una pieza puede soportar las nuevas cargas límite con un factor de seguridad igual o mayor de 1, y la estructura restante tiene vida suficiente para resistir la fatiga hasta completar la misión.

aumento en la sección de la junta soldada (para refuerzo). El aumento en el espesor de la sección de la junta para soldadura que ofrece una mejora en la eficacia de la junta. Estos aumentos de sección también se pueden usar para proporcionar metal de aporte en soldaduras autógenas donde el espesor de la junta después de la soldadura es igual al espesor del metal base.

CAGE. La base de datos de entidades comerciales y gubernamentales (CAGE) proporciona listas de firmas que fabrican o distribuyen artículos comprados por el gobierno de los Estados Unidos.

cliente. El individuo o la organización que estableció los requisitos de la misión o del diseño de un producto y ofrece algún tipo de compensación para la entrega del producto. El producto podría ser un diseño de ingeniería, una estructura, un sistema o un conjunto soldado.

Código federal de suministros para fabricantes (FSCM). (Vea el término preferido **CAGE**)

componente de durabilidad crítica. Un componente cuya falla o deterioro ocasionará una carga de mantenimiento significativa pero no perjudicará la seguridad del vuelo.

componentes destinados a ser utilizados en vuelo. Cualquier parte de un vehículo volador (por ejemplo, aviones, misiles, nave espacial) o su carga útil.

concavidad. Distancia máxima desde la cara de una soldadura de filete cóncavo perpendicular a una línea que une los pies de la soldadura.

constructor. Es la organización responsable de la producción de estructuras soldadas que cumplan con los requisitos del diseño y del contrato.

crítica. Soldaduras realizadas en estructuras críticas a las que se les deberá realizar un análisis de esfuerzos para determinar la aptitud de la reparación en base a la ubicación de la soldadura y al tipo de soldadura. Deberá prestarse la debida atención para evitar que la soldadura se convierta en una entalla metalúrgica o mecánica en la estructura crítica.

discontinuidad rechazable. Una discontinuidad que por su naturaleza o por efecto acumulado (por ejemplo, la longitud total de una grieta) provoca que una pieza o un producto no cumpla con los requisitos mínimos.

durabilidad. La capacidad de la aeroestructura o el motor para resistir el agrietamiento (comprende la vibración, la corrosión y el agrietamiento inducido por hidrógeno), la corrosión, el deterioro, la degradación térmica, la deslaminación, el desgaste y los efectos de los daños producidos por objetos extraños y propios durante un período de tiempo especificado.

⁸ Las normas CGA son publicadas por la Compressed Gas Association, Inc., Crystal Gateway 1, Suite 501, 1235 Jefferson Davis Highway, Arlington, VA 22202.

elemento de seguridad crítica. Un componente cuya falla probablemente ocasione la pérdida de la aeronave o constituya un peligro para el personal ocasionado directamente por la falla de la pieza o causando otras fallas progresivas de la pieza.

especimen de ensayo de todo el metal de soldadura. Un espécimen de ensayo con la sección reducida compuesta completamente de metal de soldadura.

estructuras. Las estructuras están definidas por el Responsable de Ingeniería de acuerdo con las prácticas aceptadas y tendrán el mismo significado en este documento.

estructura crítica. Una estructura o componente en la que una única falla podría causar un peligro significativo para el personal, pérdida del sistema, pérdida de componentes principales, pérdida de control, liberación no intencional de elementos críticos, incapacidad para liberar armamento, que dará como resultado una sobrecarga operativa o pérdida del sistema aeroespacial o la cancelación de la misión.

estructura no crítica. Una estructura o componente no crítico que está contenido, motivo por el cual su falla no afectará a otros elementos destinados a ser utilizados en vuelo o al personal.

estructura semicrítica. Una falla del componente que reduciría la eficacia general del sistema pero que no provocaría la pérdida del sistema ni pondría en peligro el personal. Además, una estructura o componente semicrítico no es “crítico” y se considera a prueba de fallas.

estructura tolerante a los daños. Estructura en la que la velocidad de propagación de la grieta es suficientemente lenta como para superar al menos dos inspecciones entre la iniciación de la grieta y la falla funcional.

fractura crítica. Una pieza que, por el análisis de la fractura mecánica, tiene un factor de vida útil de menos de 2 veces los requisitos para el ciclo de vida del vehículo y cuya falla podría causar la pérdida del vehículo o de la tripulación. También se denomina así a una pieza que es un recipiente a presión o un componente de una maquinaria rotativa.

garganta efectiva. La distancia mínima desde la raíz de la soldadura hasta su cara sin considerar los refuerzos (vea el término preferido, **garganta teórica**). (Es la misma definición proporcionada por AWS D1.1/D1.1M pero difiere de la definición de la AWS A3.0M/A3.0).

instalaciones aeroespaciales no convencionales. Las instalaciones aeroespaciales no convencionales son aquellas que, por su naturaleza, están orientadas a un programa o son de tipo experimental y pueden incluir, sin limitarse a, complejos de lanzamiento, bancos de prueba, túneles de viento, instalaciones operativas o de investigación, torres, e instalaciones para propósitos similares cuyas estructuras se caracterizan por estar sometidas a condiciones de carga inusuales o inadecuadamente definidas, escasez de diseños anteriores o modificaciones frecuentes para adaptarlas a los cambios en las necesidades operativas.

Junta de revisión de materiales (MRB). La capacidad de un cliente o de un Responsable de Ingeniería para revisar y desechar formalmente componentes defectuosos. La MRB normalmente tiene la autoridad para admitir excepciones en los requisitos de ingeniería, lo cual incluye la autorización para realizar reparaciones.

junta de soldadura compleja. Una junta de soldadura continua con variaciones en el espesor de la sección y transiciones cónicas, que pueden requerir cambios en la posición o la dirección de soldadura, en las tasas de deposición de la soldadura y en los aportes de calor durante la ejecución de una soldadura. Una junta de soldadura compleja no se puede definir en un plano de ingeniería por un símbolo de soldadura.

junta en T. Una junta entre dos o tres miembros ubicados aproximadamente en ángulos rectos uno a otro en forma de T.

materiales no estándar. Metales base y/o metales de aporte no comprendidos dentro de los códigos o especificaciones de soldadura industriales.

misión crítica. Un componente cuya falla genera un impacto operativo significativo al poner en peligro la capacidad para completar con éxito la misión asignada. Esta clasificación incluye piezas en las que los efectos de la falla afectan negativamente la supervivencia del vehículo aéreo o la eficacia de la misión o ambos.

modo de falla. El mecanismo de falla de ingeniería específico que conduce a una falla funcional particular.

no críticas. Las soldaduras empleadas para la reparación de estructuras no críticas pueden ser sometidas a un análisis de esfuerzos realizado a criterio del Responsable de Ingeniería si la soldadura de reparación se encuentra en una zona que podría causar la falla de la estructura no crítica o la pérdida de rendimiento del sistema.

Responsable de Ingeniería. El Responsable de Ingeniería es la agencia o la organización corporativa contratante que actúa por y en nombre del cliente en todos los asuntos comprendidos en el ámbito de aplicación de esta norma. El Responsable de Ingeniería tiene bajo su responsabilidad la integridad estructural o el mantenimiento de la aeronavegabilidad de los componentes y el cumplimiento de todos los documentos del contrato.

semicrítico. Soldaduras realizadas en estructuras semicríticas a las que se les deberá realizar un análisis de esfuerzos antes de soldar la estructura.

subllenado. Condición en la cual la cara de la soldadura o la superficie de la raíz se extienden por debajo de la superficie adyacente del metal base.

tolerancia al daño. La capacidad de un componente aeroespacial destinado a ser utilizado en vuelo para resistir una falla debido a la presencia de imperfecciones, grietas u otros daños durante un período determinado de uso sin reparar.

Los símbolos de soldadura deberán ser los publicados en la última edición de la norma AWS A2.4, *Símbolos estándar para la soldadura, la soldadura fuerte y los ensayos no destructivos*.

4. Diseño de conexiones soldadas

4.1 Alcance. El Responsable de Ingeniería diseñará la estructura soldada y definirá los requisitos para garantizar el cumplimiento de todos los requisitos de la misión y de los sistemas. La documentación de ingeniería definirá claramente las necesidades especiales, como la fractura crítica, la durabilidad crítica, la misión crítica o la seguridad crítica, impuestas adicionalmente a los requisitos generales. Además, el Responsable de Ingeniería definirá controles esenciales del proceso y comprobará que todos los requisitos de diseño puedan ser satisfechos por las soldaduras producidas de acuerdo con el procedimiento especificado y los requisitos de fabricación y de inspección. El Apéndice A contiene más información orientativa sobre el diseño y el análisis de la junta de soldadura.

4.2 Datos de diseño de conjuntos soldados. El Responsable de Ingeniería desarrollará u obtendrá la información adecuada de las propiedades de los materiales para sustentar el diseño de la soldadura. Además, el Responsable de Ingeniería deberá considerar las tensiones residuales resultantes del proceso de soldadura o proporcionar un método para controlar o minimizar esas tensiones residuales (por ejemplo, recocido, envejecimiento posterior a la soldadura, etc.)

4.3 Requisitos generales de los planos

4.3.1 Información contenida en los planos. Las características esenciales de todas las soldaduras deberán describirse íntegramente, ya sea en el plano de ingeniería o en la documentación de apoyo indicada. Cuando sea necesario, el plano de ingeniería deberá mostrar el perfil (la sección transversal) de una junta compleja con suficiente detalle de manera que el constructor pueda determinar las características esenciales en cualquier posición a todo lo largo de la soldadura.

4.3.2 Soldaduras de ranura. Todas las soldaduras de ranura, incluso las juntas a tope pestañadas y en esquina, deberán ser de penetración completa (penetración en toda la junta) a menos que se especifique lo contrario en el plano de ingeniería o en la documentación de apoyo indicada.

4.3.3 Soldaduras de filete. El tamaño de la soldadura de filete deberá estar especificado en el plano de ingeniería. A menos que se indique lo contrario, el tamaño especificado es un mínimo del tamaño máximo predefinido en la tabla 7.1. La penetración de raíz de la soldadura de filete no se incluirá en los cálculos de resistencia de la soldadura a menos que se haya definido una soldadura de ranura y filete combinada para la junta.

4.3.4 Información esencial. Para todas las soldaduras, el plano de ingeniería o los documentos de apoyo indicados deberán especificar lo siguiente:

- (1) tipo y condición del material base en el momento de la soldadura (por ejemplo, recocido, normalizado, etc.)
- (2) tipo y composición del metal de aporte o soldadura autógena (sin metal de aporte)
- (3) tratamiento térmico posterior a la soldadura, método o ciclos de tratamiento térmico (se debe incluir los valores de la resistencia a la tracción y la dureza según corresponda)
- (4) símbolos de soldadura de acuerdo a AWS A2.4
 - (a) ubicación y extensión de la soldadura
 - (b) contorno final y requisitos de acabado de la soldadura (como recién soldada o posteriormente acabada)
 - (c) Las condiciones especiales serán completamente explicadas con notas agregadas o detalles sobre el plano de ingeniería.
- (5) clasificaciones de soldadura (Clase A, B o C)
- (6) secuencia y técnica de soldadura (si corresponde) utilizada para controlar las tensiones de contracción y la distorsión
- (7) controles dimensionales requeridos para asegurar las dimensiones finales del plano
- (8) métodos alternativos de inspección, además de los criterios de aceptación específicos del caso, si corresponde.

NOTA: excepto que se especifique lo contrario, las dimensiones en el plano de la soldadura indican las dimensiones finales del conjunto soldado y no tienen en cuenta la contracción.

4.3.5 Requisitos de la inspección. Los planos de ingeniería deberán definir requisitos de inspección de soldaduras mediante la clasificación de la soldadura o mediante la adaptación de los métodos de inspección (clasificación de la soldadura) y los criterios de aceptación predefinidos. Una sola soldadura puede emplear más de un conjunto de requisitos de inspección a través de la utilización de zonas separadas aplicados a la soldadura. La sección 7 establece los métodos de inspección y los criterios de aceptación predefinidos.

5. Calificación del rendimiento y el procedimiento de soldadura

5.1 Descripción general. Esta sección establece los requisitos para la calificación del desempeño y el procedimiento de soldadura. También contiene disposiciones para el mantenimiento de la calificación del soldador o el operario de soldadura y de los diferentes métodos que se pueden utilizar para calificar los procedimientos de soldadura.

5.1.1 Descripciones funcionales del soldador y el operario de soldadura

5.1.1.1 Soldador. La descripción funcional del soldador se define en AWS A3.0M/A3.0.

5.1.1.2 Operario de soldadura. La descripción funcional del operario de soldadura se define en AWS A3.0M/A3.0.

5.2 Requisitos generales (rendimiento)

5.2.1 Requisitos físicos. Los soldadores y operarios de soldadura deben tener una agudeza visual de 20/30 o mejor en cada ojo, y serán capaces de leer la tabla Jaeger N.º 2 a 16 pulgadas [400 mm] de distancia. La visión de cada ojo puede estar corregida o no para alcanzar los requisitos de la prueba de agudeza visual. Si se necesita corregir la visión para superar los requisitos de la prueba ocular, entonces este hecho deberá ser anotado en la calificación. Los requisitos de visión serán verificados por lo menos cada dos años. Como alternativa, el constructor podrá establecer otros requisitos físicos razonables y apropiados para los soldadores y operarios de soldadura.

5.2.2 Requisitos de calificación. Para alcanzar la calificación, los soldadores y operarios de soldadura deberán demostrar su habilidad para producir soldaduras de prueba aceptables de acuerdo con lo requerido en el párrafo 5.3.8. Cuando las soldaduras no sean requeridas para trabajos de producción, no será necesario realizar estas soldaduras de prueba. Las calificaciones, certificaciones, recalificaciones y recertificaciones dadas bajo los términos de esta especificación no se transfieren de un constructor a otro.

5.2.2.1 Soldadores. Los factores que relacionan las soldaduras de prueba con las de producción se deberán basar en las siguientes variables esenciales:

- (1) proceso de soldadura (vea 5.3.1)
- (2) grupo de composición del metal base (vea 5.3.2)
- (3) espesor del metal base (vea 5.3.3)
- (4) posición de soldadura (vea 5.3.4)
- (5) forma del metal base, lámina o tubo (vea 5.3.5)
- (6) tipo de soldadura, ranura o filete
- (7) otras condiciones de soldadura (vea 5.3.6)

El metal de aporte utilizado para las soldaduras de prueba deberá ser igual al habitualmente utilizado en la soldadura de producción del metal base.

5.2.2.2 Operarios de soldadura. La correspondencia entre las soldaduras de prueba y las de producción se basará como mínimo en las tres primeras variables esenciales indicadas en el párrafo 5.2.2.1.

5.2.3 Validez de la calificación o certificación

5.2.3.1 Validez inicial. La conclusión con éxito de las pruebas de calificación del soldador y el operario de soldadura será una justificación válida para emitir el certificado por un período de al menos dos años a partir de la fecha de emisión de los resultados de la prueba de calificación.

5.2.3.2 Validez extendida. Los límites del período de calificación indicados en el párrafo 5.2.3.1 podrán ser prorrogados indefinidamente siempre que se mantenga un registro auditable a partir de la fecha de la calificación inicial que verifique que el soldador u operario de soldadura ha utilizado el proceso de soldadura dentro de un período de seis meses para soldar aplicaciones normalmente soldadas por una persona certificada.

5.2.3.3 Descalificación. La descalificación y revocación de la certificación del soldador será el resultado de una o más de las siguientes condiciones:

- (1) Un soldador u operario de soldadura que no haya superado las pruebas de calificación en los últimos dos años y que no haya mantenido un registro auditable de acuerdo a lo dispuesto en el párrafo 5.2.3.2.
- (2) La prueba de rendimiento de la persona requerida por el párrafo 5.2.3.2 no ha sido registrada ni conservada por el constructor para documentar el rendimiento del soldador.
- (3) El soldador o el operario de soldadura no ha alcanzado los requisitos exigidos por el examen de la vista o no ha pasado el examen requerido en los dos últimos años.
- (4) No se pudieron alcanzar otros requisitos físicos razonables y apropiados establecidos por el constructor.
- (5) Hay una razón específica para cuestionar la capacidad de un soldador u operario de soldadura para cumplir con los requisitos para la calificación.

5.2.3.4 Readmisión. El individuo descalificado podrá ser reexaminado para obtener la calificación y certificación solicitada. Para rehabilitar la certificación, la persona deberá demostrar su capacidad y sus habilidades mediante la misma prueba de calificación —o la actualmente utilizada. La autoridad final en el establecimiento de la frecuencia de repetición de pruebas, los requisitos de la capacitación y la evaluación general de la calificación de la persona de acuerdo con este documento, y el otorgamiento o el restablecimiento de la certificación recae en el constructor.

5.2.4 Identificación. El constructor deberá asignar un número exclusivo u otra identificación para cada soldador u operario de soldadura relacionado con la certificación.

5.2.5 Registros de prueba. El constructor deberá completar un registro de pruebas que contenga las variables esenciales que se enumeran en los párrafos 5.2.2.1 ó 5.2.2.2, donde se detallan los límites de la calificación del soldador o del operario de soldadura. Además, el formulario de registro de la prueba deberá incluir otras condiciones y restricciones, tales como lentes correctoras. Estos registros se conservarán durante el período especificado en el contrato o, si este tiempo no se ha especificado, el tiempo de conservación del registro será el de la validez de la calificación.

5.2.5.1 Formulario del registro de pruebas. El contenido sugerido de los formularios de registro de prueba se muestra en la Figura 5.1.

5.3 Requisitos detallados (rendimiento)

5.3.1 Proceso de soldadura. Las soldaduras de prueba hechas con un proceso de soldadura incluido en la Tabla 5.1, califican a los soldadores y operarios de soldadura únicamente para ese proceso de soldadura. Esta sección de calificación solo se aplica a los procesos de soldadura incluidos en la Tabla 5.1.

5.3.2 Metales base. Las soldaduras de prueba hechas en uno de los grupos de metales base incluidos en la Tabla 5.2, califica a los soldadores y operarios de soldadura únicamente para ese grupo de metales base, excepto por las modificaciones del párrafo 5.3.2.1.

5.3.2.1 Clasificación del grupo. La calificación en un grupo de metales base con un indicador “B” también califica los metales base con el mismo indicador en números romanos y un indicador “A”. Por ejemplo, un soldador u operario de soldadura calificado mediante una prueba en la que se utilizó un metal base del grupo IIIB también califica para soldaduras en metales base del grupo IIIA.

5.3.2.2 Soldaduras con materiales diferentes. Los soldadores y operarios de soldadura también pueden soldar juntas con aleaciones diferentes siempre que estén calificados para soldar los grupos de aleaciones que componen los metales base incluidos en la junta.

5.3.3 Espesor del metal base. A continuación se ofrecen los límites de calificación para soldadores y operarios de soldadura, relacionados con el espesor del metal base (espesor de la lámina o de la pared del tubo). Estos límites se aplican tanto a las soldaduras de ranura como a las de filete.

5.3.3.1 Rango de espesor calificado

- (1) Una soldadura de prueba en un metal base de espesor t calificará soldaduras con un rango de espesor de $0,67t$ a $4t$, excepto cuando el espesor de la soldadura de prueba sea igual o mayor de 1 pulgada [25 mm], en el que el rango de calificación será desde $0,67t$ a ilimitado. Dos soldaduras de prueba calificarán soldaduras con todos los espesores intermedios.
- (2) La calificación de las soldaduras de filete en láminas o tubos de 0,063 pulg. [1,6 mm] de espesor (de la lámina o la pared del tubo), o menores, requiere la ejecución de una prueba de la soldadura de filete. Una prueba de soldadura de ranura no puede ser utilizada para calificar soldaduras de filete dentro de este rango de espesor.

NOTA: las calificaciones para soldadura de filete en tubos se basan únicamente en el espesor del tubo y no en láminas de espesor equivalente.

- (3) La calificación para la soldadura de tubos de diámetro externo igual o menor de 1 pulgada [25 mm] debe ser realizada sobre un tubo. La calificación de la soldadura de tubos es válida para cualquier tubo cuyo diámetro externo sea igual o mayor que el del tubo en el que se realizó la soldadura de prueba.

NOTA: la calificación para la soldadura de tubos de una pulgada [25 mm] o mayores puede ser realizada mediante el uso de una lámina.

Tabla 5.1
Procesos de soldadura por fusión

Proceso	Abreviatura
Soldadura con oxígeno y gas combustible	(OFW)
Soldadura por arco con electrodo metálico revestido	(SMAW)
Soldadura por arco sumergido	(SAW)
Soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegido con gas	(GTAW)
Soldadura por arco con electrodo metálico protegida con gas	(GMAW)
Soldadura por arco con núcleo de fundente	(FCAW)
Soldadura por arco de plasma	(PAW)
Soldadura por haz de electrones	(EBW)
Soldadura por rayo láser	(LBW)

REGISTRO DE LA PRUEBA DE CALIFICACIÓN

Nombre: _____ Id. _____
 Procedimiento de soldadura de junta: _____ Soldador ☐ Operario de soldadura ☐

SOLDADURA DE PRUEBA

Descripción del metal base: _____ N.º de grupo _____
 Proceso de soldadura: _____ Soldadura simple ☐ Soldadura doble ☐
 Corriente: CA ☐ DCEN ☐ DCEP ☐ Respaldo: Sí ☐ No ☐
 Vertical: Abajo ☐ Arriba ☐ Penetración: Completa ☐ Parcial ☐

	Posición	Dimensión, pulg. [mm]
Ranura en lámina	1G ☐ 2G ☐ 3G ☐ 4G ☐	T _____
Ranura en tubo	1G ☐ 2G ☐ 5G ☐ 6G ☐	Diám. ext. _____ T _____
Filete en lámina	1F ☐ 2F ☐ 3F ☐ 4F ☐	T _____
Filete en tubo	1F ☐ 2F ☐ 4F ☐ 5F ☐	Diám. ext. _____ T _____

RESULTADOS DE LA PRUEBA

Visual		Pasa ☐	No pasa ☐
Radiográfica	No disp. ☐	Pasa ☐	No pasa ☐
Metalográfico	No disp. ☐	Pasa ☐	No pasa ☐
Doblado	No disp. ☐	Pasa ☐	No pasa ☐

CALIFICADO

N.º de grupo del metal base _____ Soldadura simple ☐ Soldadura doble ☐
 Corriente: CA ☐ DCEN ☐ DCEP ☐ Respaldo: Con ☐ Sin ☐
 Vertical: Abajo ☐ Arriba ☐ Penetración: Completa ☐ Parcial ☐

	Posición	T, pulg. [mm] Mín.	Máx.	Diám. ext., pulg. [mm] Mín.
Ranura en lámina	1G ☐ 2G ☐ 3G ☐ 4G ☐	_____	_____	
Ranura en tubo	1G ☐ 2G ☐ 5G ☐ 6G ☐	_____	_____	_____
Filete en lámina	1F ☐ 2F ☐ 3F ☐ 4F ☐	_____	_____	
Filete en tubo	1F ☐ 2F ☐ 4F ☐ 5F ☐	_____	_____	_____

Restricciones: _____

El abajo firmante está calificado de acuerdo con la norma AWS D17.1 dentro de los límites anteriores para el proceso de soldadura utilizado para esta soldadura de prueba.

Fecha de la soldadura de prueba: _____ Firmado por: _____
 Calificador

Figura 5.1—Formulario sugerido para el registro de pruebas

Tabla 5.2
Muestras de las aleaciones contenidas en los grupos de materiales I a VIII^a

Grupo	Materiales
IA	Aceros al carbono y aleados: ● Acero al carbono forjado: (barras, láminas, placas y formas): A36, A53, A106, A131, A139, A284, A441, A515, A516, A570, A572, A588 y los aceros al carbono AISI con un porcentaje nominal de carbono en peso de 0,40 o menor (1005–1040) ● Aceros al carbono fundidos: A216, A352, A389, A487 ● Aceros al carbono de baja aleación: A217, A389, A 487 ● Aceros al carbono y estructurales de baja aleación aptos para tratamiento térmico^b: A514, A517, A537, A633^c ● Placas y forjas de alta resistencia para calderas^a: A302, A508, A533 ● Aceros de resistencia ultra elevada: Aceros martensíticos envejecidos 18 Ni, Aceros 9 Ni–4 Co
IB	Aceros aleados aptos para tratamiento térmico: ● 4130^c, 4135, 4140, 4340, 8630, D6AC, 300M, H11
IIA	Aceros inoxidables: ● Aceros inoxidables austeníticos: 201, 202, 301, 302, 303, 304, 308, 309, 310, 316, 317, 321, 330, 347, 348, 19-9DL, 19-9DX, 21-6-9 ● Aceros inoxidables ferríticos: 405, 406, 409, 429, 430, 434, 436, 439, 441, 442, 446 ● Aceros inoxidables martensíticos: 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431, 440
IIB	Aceros inoxidables templables por precipitación: ● PH13-8Mo, 15-5PH, PH15-7Mo, AM-350, AM-355, A-286, 17-4PH, 17-7PH^c, Custom®450 y 455
IIIA	Níquel y aleaciones a base de níquel: ● Nickel 200 y 201 ● Monel® 400 ● Hastelloy® B, B2, C, C4, G, G2, N, X, 276 ● Inconel® 600 y 625^c, 800, 800H, 825 ● Carpenter® Cb3 ● Haynes 20 Mod.
IIIB	Níquel y aleaciones a base de níquel templables por precipitación: ● Monel® K500 ● Inconel® 601, 706, 718^c, X750, 901, 903, 907, 909 ● Rene® 41, 77, 80 ● Udimet® 700
IV	Aleaciones de aluminio no aptas para tratamiento térmico: □ 1060, 1100, 3003, 3004, 5052, 5083, 5086^c, 5154, 5254, 5454, 5456, 5652 Aleaciones de aluminio aptas para tratamiento térmico: □ 355, 356, 357, 2014, 2219, 6061^c, 6063
V	Aleaciones de magnesio: □ AM100A, AZ31B^c, AZ61A, AZ80A, AZ91A, AZ92A, EZ33A, HM21A, HK31A, HM31A, HZ32A, LA141A, ZH62A, QE22A
VI	Aleaciones de titanio: □ CP Titanium (25, 40, 55), □ Ti-5Al-2.5Sn □ Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo □ Ti-8Al-1Mo-1V

Tabla 5.2 (continuación)
Muestras de las aleaciones contenidas en los grupos de materiales I a VIII^a

	☐ Ti-6Al-2Cb-1Ta-1Mo ☐ Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo ☐ Ti-3Al-2.5V ☐ Ti-6Al-4V ^c , Ti6Al-6V-2Sn ☐ Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr ☐ Ti-6Al-2Sn-3Zr-2Cr-2Mo ☐ Ti-15V-3Cr-3Mo-3Sn
VII	Aleaciones a base de cobalto: ☐ Stellite® 6, 21, 23, 27, 30, 31 ☐ HS188® ^c , L605, S816
VIII	Aleaciones que no se ajustan a los grupos I a VII: ^d ☐ Aleaciones refractarias (Cb, Mo, W) ☐ Aleaciones reactivas (Zr) ☐ Aleaciones magnéticas ☐ Aleaciones de cobre

Esta tabla presenta un muestreo de las aleaciones contenidas dentro de los grupos de materiales establecidos en este documento. Excepto como se indica en el grupo VIII, las aleaciones no mencionadas pueden ser asignadas al grupo de materiales por el Responsable de Ingeniería.

^a “Estas son aleaciones de muestra. Los nombres comerciales sugeridos para las aleaciones son propiedad de sus propietarios” Cuando se utiliza el nombre de una marca comercial, la marca comercial será identificada con un símbolo de marca comercial.

^b Estos materiales serán considerados como un subgrupo separado. La calificación con una aleación identificada con este símbolo también calificará para los materiales de soldadura en el grupo básico no identificado por el símbolo.

^c Aleación recomendada para la calificación de este grupo de aleaciones.

^d Cada aleación de este grupo requiere una calificación independiente.

5.3.4 Posición de soldadura

5.3.4.1 Soldadores. Las posiciones de soldadura calificadas por una prueba de posición de soldadura dada se encuentran a la izquierda de la Tabla 5.3, marcadas con una “X”. Las posiciones de soldadura se designan, identifican e ilustran en las figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5.

5.3.4.2 Operarios de soldadura. Una soldadura de prueba hecha en cualquier posición califica para todas las posiciones de soldadura.

5.3.5 Forma del metal base y tipo de soldadura

5.3.5.1 Soldadores. Las formas del metal base y los tipos de soldadura calificados por una soldadura de prueba dada se encuentran a la izquierda de la Tabla 5.3, marcados con una “X”.

5.3.5.2 Operarios de soldadura. Una soldadura de prueba en cualquier forma de metal base con cualquier tipo de soldadura calificará para todas las formas del metal base y todos los tipos de soldadura. Una prueba de soldadura en tubos, sobre un tubo de cualquier diámetro externo calificará para los tubos de cualquier diámetro externo.

5.3.6 Otras condiciones de soldadura. Además del proceso de soldadura, la composición del metal base, el espesor del metal base, la posición de la soldadura, la forma del metal base y el tipo de soldadura, la Tabla 5.4 presenta otras condiciones de soldadura que requieren una correspondencia entre la soldadura de prueba y las soldaduras de producción.

5.3.6.1 Soldadores. Las condiciones de soldadura calificadas por una prueba de condición de soldadura dada se encuentran a la izquierda de la Tabla 5.4, marcadas con una “X”.

5.3.6.2 Operarios de soldadura. Las restricciones a las condiciones de soldadura de la Tabla 5.4 no son aplicables a la calificación de los operadores de soldadura.

5.3.7 Soldaduras de prueba. Cada combinación de condiciones de soldadura requerirá de una soldadura de prueba, como se indica en 5.2.2.1 y 5.2.2.2, para ser calificada. Las soldaduras de prueba se harán de acuerdo con un procedimiento de soldadura escrito.

Tabla 5.3
Posición de soldadura, forma del metal base y metal base,
calificados por una soldadura de prueba^a

Soldadura de prueba		Psn	Posición calificada															
			Lámina								Tubo							
			Ranura				Filete ^b				Ranura ^c				Filete ^b			
Forma	Tipo de soldadura		1G	2G	3G	4G	1F	2F	3F	4F	1G	2G	5G	6G	1F	2F	4F	5F
Lámina	Ranura	1G	X				X	X			X				X			
		2G	X	X			X	X			X	X			X			
		3G	X		X		X	X	X		X				X			
		4G	X			X	X	X		X	X				X			
Lámina	Filete	1F					X								X			
		2F					X	X							X	X		
		3F					X	X	X						X			
		4F					X	X		X					X	X	X	
Tubo	Ranura	1G	X				X	X			X				X	X		
		2G	X	X			X	X			X	X			X	X		
		5G	X		X	X	X		X	X	X		X		X		X	X
		6G	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tubo	Filete	1F					X								X			
		2F					X	X							X	X		
		4F					X	X		X					X	X	X	
		5F					X	X	X	X					X	X	X	X

^a Posición de soldadura, forma del metal base y metal base calificados por una soldadura de prueba. El uso de disipadores de calor o de respaldo es opcional. Sin embargo, la calificación con disipadores de calor de respaldo no se puede emplear para calificar las soldaduras sin disipadores de calor o respaldo.

^b La calificación de las soldaduras de filete en láminas o tubos de 0.063 pulg. [1.6 mm] de espesor (de la lámina o la pared del tubo), o menores, requiere la ejecución de una prueba de soldadura de filete. Una prueba de soldadura de ranura no puede ser utilizada para calificar soldaduras de filete dentro de este rango de espesor.

^c Una soldadura de prueba de lámina califica para la soldadura de tubos de 1 pulg. [25 mm] de diámetro exterior o mayor.

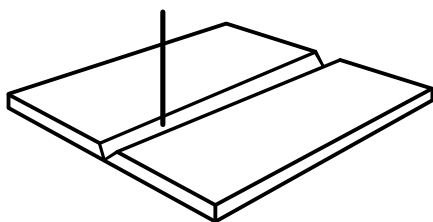
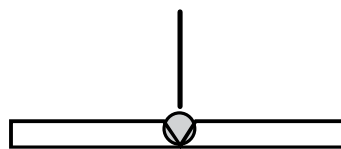
5.3.7.1 Prueba de soldadura de ranura en láminas. La soldadura de prueba es una junta a tope en una lámina como se describe en la Figura 5.6.

5.3.7.2 Prueba de soldadura de filete en láminas. La soldadura de prueba es una junta en T en una lámina como se describe en la Figura 5.7.

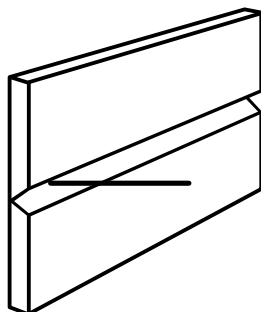
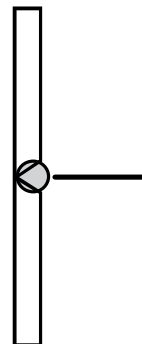
5.3.7.3 Prueba de soldadura de ranura en tubos. La soldadura de prueba es una junta a tope en un tubo como se describe en la Figura 5.8.

5.3.7.4 Prueba de soldadura de filete en tubos. La soldadura de prueba es una unión entre un tubo y una lámina como se describe en la Figura 5.9.

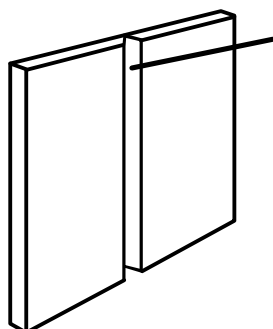
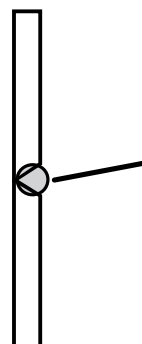
5.3.7.5 Aplicaciones especiales. Cuando ninguna de las soldaduras de prueba descritas anteriormente sea aplicable a una soldadura de producción dada, se deberá lograr la calificación de un soldador o un operario de soldadura especializados en la aplicación específica, mediante una soldadura de prueba igual a la soldadura de producción pretendida, o una soldadura de prueba representativa de la soldadura de producción pretendida. La calificación está limitada por las condiciones de la soldadura de prueba referidas al proceso de soldadura, la composición del metal base, el espesor del metal base, la posición de soldadura, la forma del metal base, el tipo de soldadura y otras condiciones de soldadura expresadas en el párrafo 5.3.6. La inspección, el ensayo y los criterios de aceptación requeridos deberán ser coherentes con los requisitos del párrafo 5.3.8 o con los criterios de la pieza de producción.

**1G**

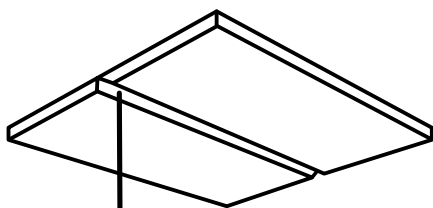
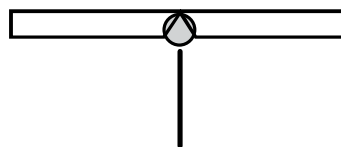
Posición plana. Posición de soldadura utilizada para soldar desde el lado superior de la junta; la cara de la soldadura es aproximadamente horizontal.

**2G**

Posición horizontal. Posición de soldadura en la que el eje de la soldadura se encuentra en un plano aproximadamente horizontal y la cara de la soldadura en un plano aproximadamente vertical.

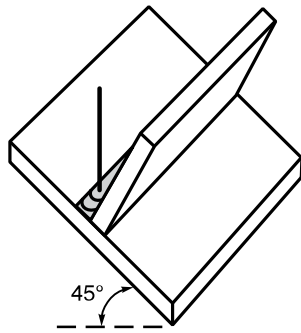
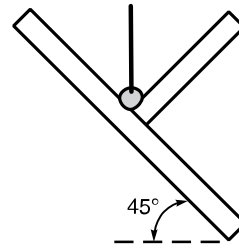
**3G**

Posición vertical. Posición de soldadura en la que el eje de la soldadura es aproximadamente vertical.

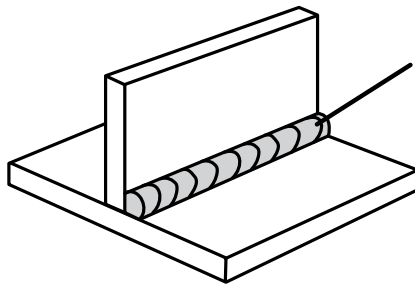
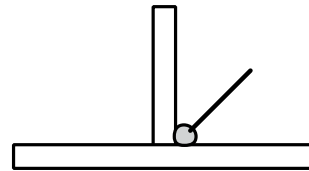
**4G**

Posición sobre cabeza. Posición en la que la soldadura se realiza desde la parte inferior de la junta.

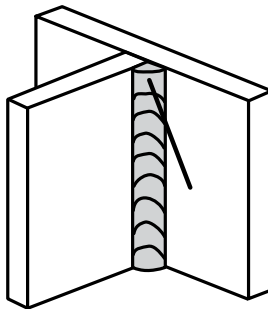
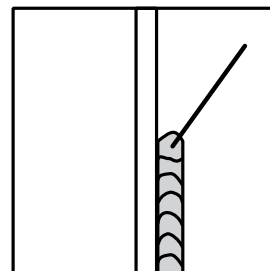
Figura 5.2—Soldadura de ranura en láminas: posiciones 1G, 2G, 3G y 4G

**1F**

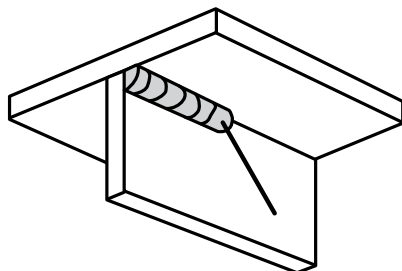
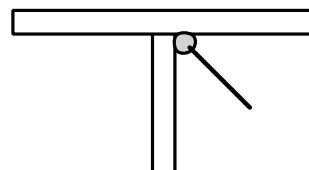
Posición plana. Posición de soldadura utilizada para soldar desde el lado superior de la junta; la cara de la soldadura es aproximadamente horizontal.

**2F**

Posición horizontal. Posición de soldadura en la que la soldadura se realiza en el lado superior de una superficie aproximadamente horizontal y contra una superficie aproximadamente vertical.

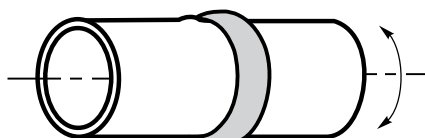
**3F**

Posición vertical. Posición de soldadura en la que el eje de la soldadura es aproximadamente vertical.

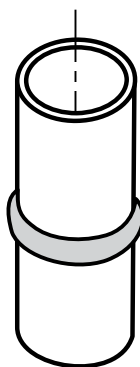
**4F**

Posición sobre cabeza. Posición en la que la soldadura se realiza desde la parte inferior de la junta.

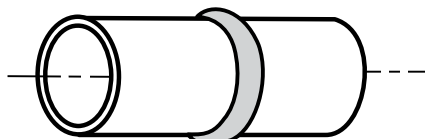
Figura 5.3—Soldadura de filete en láminas: posiciones 1F, 2F, 3F y 4F

**1G**

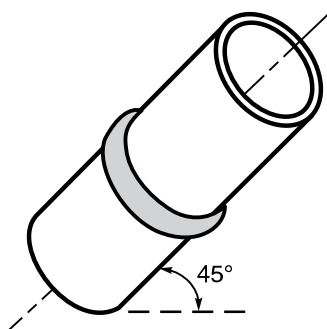
Posición horizontal girada. La posición de una junta de tubos en la cual el eje del tubo está aproximadamente horizontal y la soldadura se realiza en la posición plana mediante el giro del tubo.

**2G**

Posición vertical. La posición de una junta de tubos en la que la soldadura se realiza en la posición horizontal y el tubo no gira durante la soldadura.

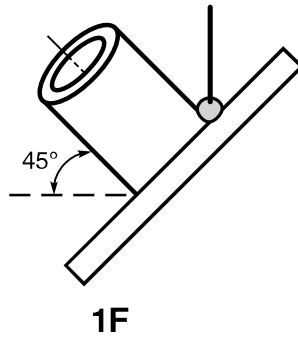
**5G**

Posición horizontal fija. La posición de una junta de tubos en la cual el eje del tubo es aproximadamente horizontal y el tubo no gira durante la soldadura.

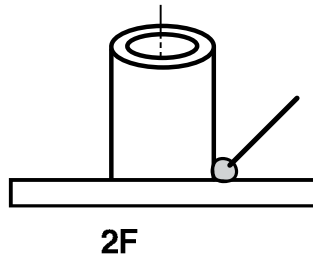
**6G**

Posición inclinada. La posición de una junta de tubos en la cual el eje del tubo está a aproximadamente 45 grados de la horizontal y el tubo no gira durante la soldadura.

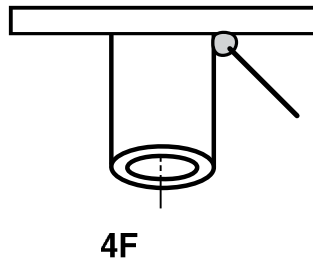
Figura 5.4—Soldadura de ranura en tubos: posiciones 1G, 2G, 5G y 6G



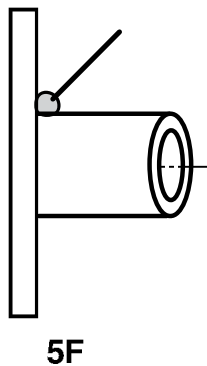
Posición plana. Posición de soldadura utilizada para soldar desde el lado superior de la junta; la cara de la soldadura está aproximadamente horizontal y el tubo se gira durante la soldadura.



Posición horizontal. Posición en la que la soldadura se realiza en el lado superior de una superficie aproximadamente horizontal y contra una superficie aproximadamente vertical y el tubo no se gira durante la soldadura.



Posición sobre cabeza. La posición de una junta de tubos en la que la soldadura se realiza desde la parte inferior y el tubo no se gira durante la soldadura.



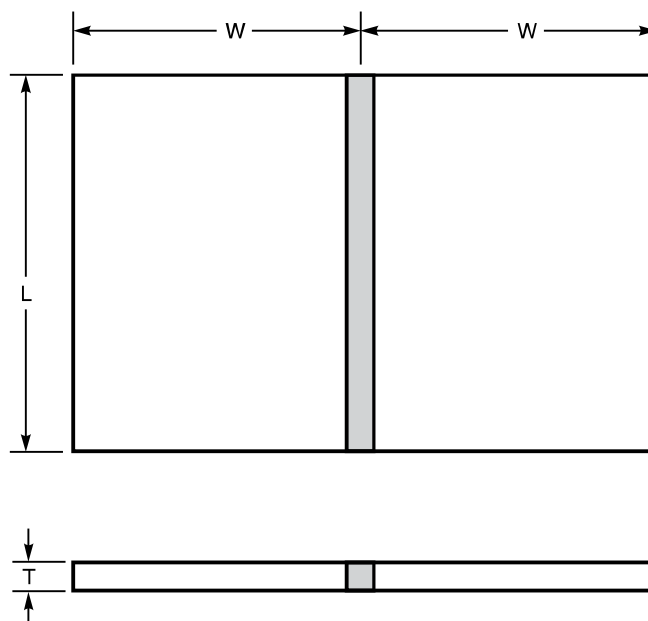
Posición múltiple. La posición en la cual el eje del tubo está aproximadamente horizontal y el tubo no se gira durante la soldadura.

Figura 5.5—Soldadura de filete en tubos: posiciones 1F, 2F, 4F y 5F

Tabla 5.4
Otras condiciones de soldadura calificadas por una soldadura de prueba

Soldadura de prueba	Calificada						
	Respaldo		Soldadura de ranura				Tipo de corriente ^a
	Con	Sin	Simple	Doble	Penetración completa.	Penetración parcial	CA CC
Con respaldo	X						
Sin respaldo	X	X					
Soldadura de ranura de un solo cordón			X	X			
Soldadura de ranura de cordón doble				X			
Soldadura con penetración completa					X	X	
Soldadura con penetración parcial						X	
Soldadura en CA							X
Soldadura en CD							X

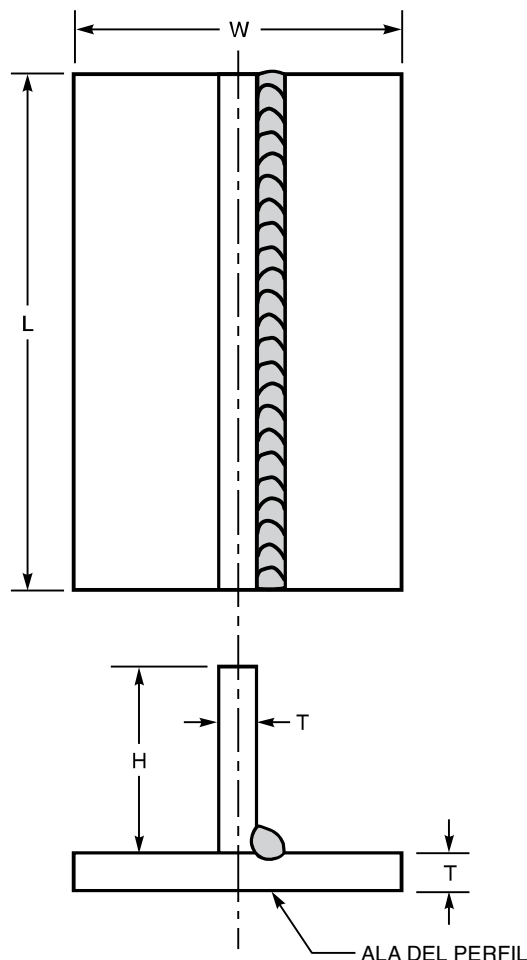
^a Cuando corresponda



Espesor del metal base (pulg. [mm])	Dimensiones mínimas (pulg. [mm])	
T	W ^a	L
≤ 0,063 [1,6]	2 [50]	5 [125]
> 0,063 [1,6]	3 [75]	8 [200]

^a Dimensión sugerida

Figura 5.6—Prueba de soldadura de ranura en láminas



Espesor del metal base (pulg. [mm])		Dimensiones mínimas (pulg. [mm])	
T	W ^a	L	H
≤ 0,063 [1,6]	4 [100]	5 [125]	2 [50]
> 0,063 [1,6]	6 [150]	8 [200]	3 [75]

^a Dimensión sugerida.

Nota: cuando la diferencia entre el espesor de los miembros sea mayor del 10 % del miembro más grueso, el ala será el miembro más grueso.

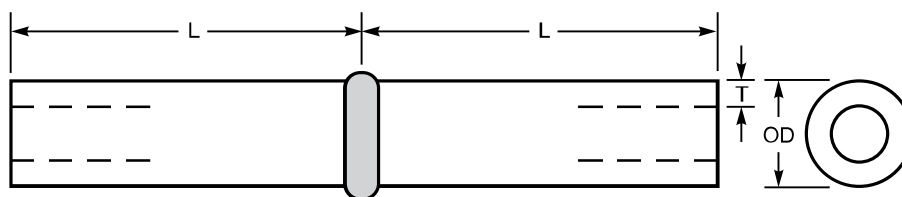
Figura 5.7—Prueba de soldadura de filete en láminas

5.3.8 Requisitos de inspección y ensayo

5.3.8.1 Inspección. Las soldaduras de prueba se deberán aceptar o rechazar de conformidad con los criterios para las soldaduras de la Clase A en la Tabla 7.1, excepto una longitud de 0,5 pulg. [13 mm] que se podrá desechar de los extremos de los cupones de soldadura de ranura y de filete en lámina o placa. Los métodos de inspección se deberán realizar como se indica a continuación:

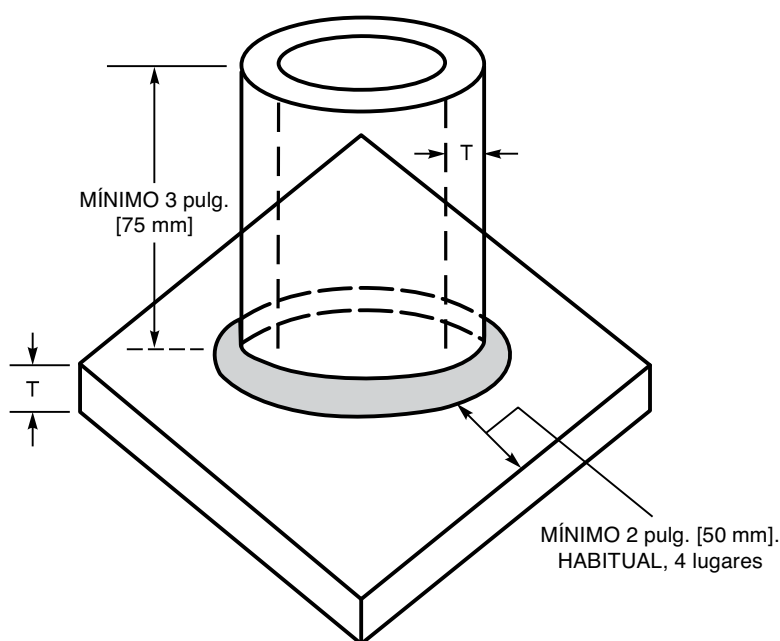
- (1) La calidad de la parte externa de la soldadura se deberá evaluar en la condición como de recién soldada mediante inspección visual.
- (2) La calidad de la parte interna de la soldadura se deberá evaluar mediante métodos radiográficos de inspección para soldaduras de ranura y mediante ensayos metalográficos para las soldaduras de filete. La prueba de doblado, de acuerdo con la norma AWS B4.0 o el Apéndice C, puede sustituir el ensayo radiográfico para las soldaduras de ranura y el ensayo metalográfico para las soldaduras de filete.

5.3.8.2 Ensayo metalográfico. En las soldaduras de filete se realizará un ensayo metalográfico mediante el uso de un aumento de 10X a 100X en reemplazo del examen radiográfico. En las soldaduras de filete, ya sean sobre tubo o lámina, las muestras se deberán cortar de acuerdo a lo indicado en las Figuras 5.10 y 5.11. Cuando el espesor del metal base sea



Espesor del metal base (pulg. [mm])	Dimensiones mínimas (pulg. [mm])
T	L
≤ 0,063 [1,6]	2 [50]
> 0,063 [1,6]	3 [75]

Figura 5.8—Prueba de soldadura de ranura en tubos



Nota: cuando la diferencia entre el espesor de los miembros sea igual o mayor del 10 % del miembro más grueso, la lámina será el miembro más grueso.

Figura 5.9—Prueba de soldadura de filete en tubos

igual o menor de 0,063 pulg. [1,6 mm], se permitirá que en las secciones de la probeta marcadas con “M” haya una falta de fusión de raíz no mayor de 0,1 veces la longitud del cateto de la soldadura de filete (véase la Figura 5.12B). Todas las pruebas de soldadura de filete mayores de 0,063 pulg. [1,6 mm] deberán mostrar una junta con fusión completa (fusión de la raíz) en ambas superficies de la sección transversal de la probeta marcada con “M” (véase la Figura 5.12A). Se deberán aplicar todos los criterios de aceptación restantes para soldaduras de Clase A.

5.3.8.3 Arbitraje. Las soldaduras de prueba con indicaciones NDE que no estén claramente interpretadas como rechazables pueden, a criterio del Responsable de Ingeniería, ser sometidas a pruebas complementarias constituidas por un ensayo metalográfico, una prueba de doblado, o ambos, en el lugar de la indicación, independientemente del grupo de materiales. Los métodos de prueba y los criterios de aceptación serán los que indique el Responsable de Ingeniería, y deberán ser compatibles con los requisitos del ensayo metalúrgico de esta especificación y los métodos establecidos para la prueba de doblado por la norma AWS B4.0. Si no se descubren evidencias de una soldadura defectuosa en estas pruebas complementarias, la soldadura de prueba, todos los resultados de las pruebas y todos los resultados de la inspección, incluyendo la película radiográfica, deberán ser considerados como aceptables por el Responsable de Ingeniería.

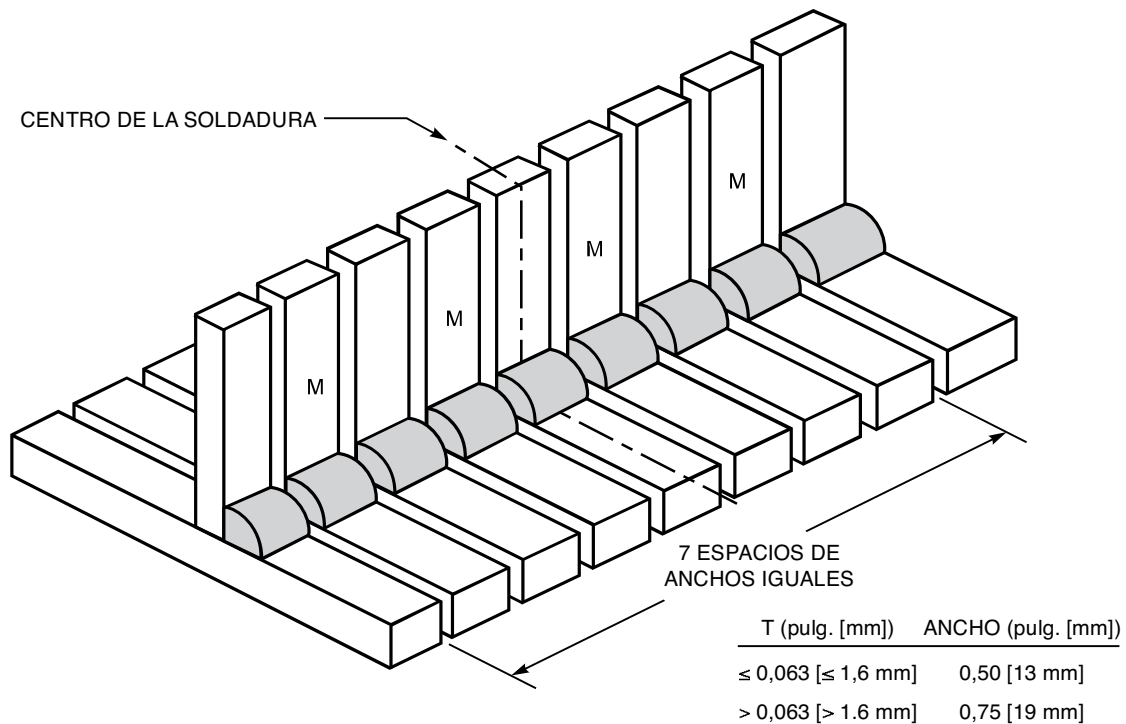


Figura 5.10—Ubicación de los cortes para obtención de muestras de probeta para pruebas metalográficas en una soldadura de filete en chapas

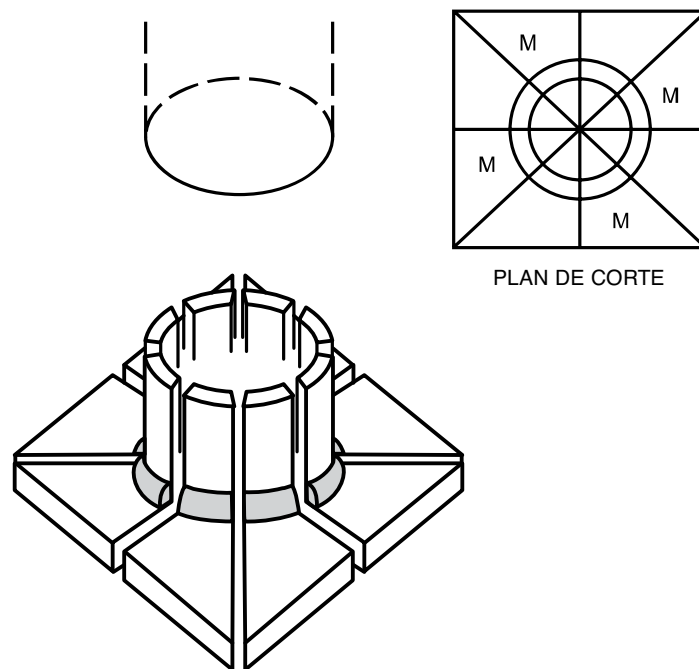
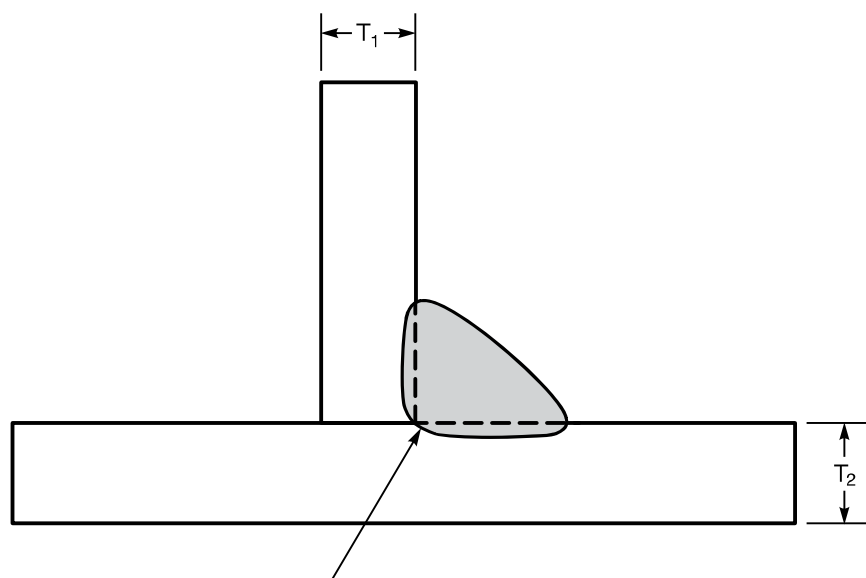


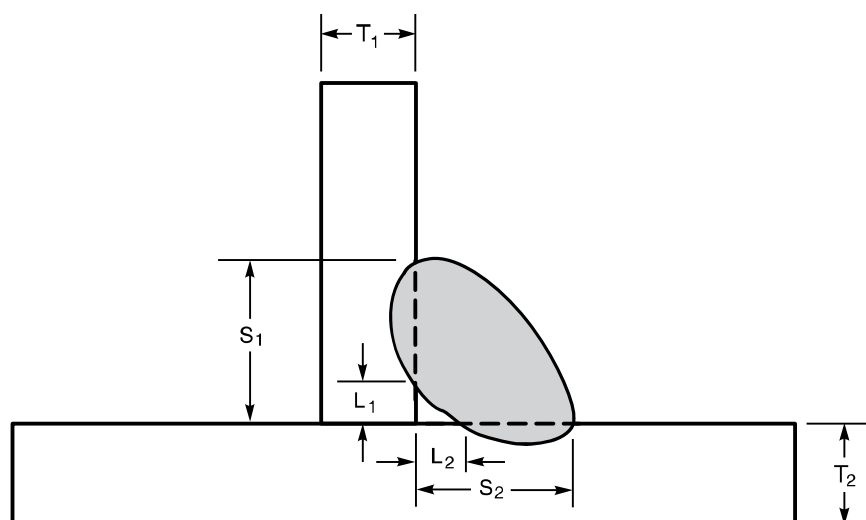
Figura 5.11—Ubicación de los cortes para obtención de muestras de probeta para pruebas metalográficas en una soldadura de filete en tubos



Notas:

1. Cuando el espesor de ambos miembros (T_1 y T_2) es $>0,063$ pulg. [1,6 mm], habrá una evidencia de fusión en ambos miembros en la esquina y una penetración de metal de soldadura más allá de la unión de ambos miembros.
2. Cuando el espesor de cualquiera de los miembros (T_1 o T_2) es $\leq 0,063$ pulg. [1,6 mm], se cumplirán los requisitos de la Figura 5.12B.

Figura 5.12A — Fusión incompleta de raíz en soldaduras de filete cuando el espesor de ambos miembros es mayor de 0,063 pulg. [1,6 mm]



Leyenda:

- L_1 = Fusión incompleta medida en la raíz del miembro vertical
 L_2 = Fusión incompleta medida en la raíz del miembro horizontal
 S_1 = Tamaño del cateto medido en el miembro vertical
 S_2 = Tamaño del cateto medido en el miembro horizontal

Notas:

1. Cuando el espesor (T_1 o T_2) de cualquiera de los miembros es $\leq 0,063$ pulg. [1,6 mm], L_1 será $\leq 0,1 \times S_1$ y/o L_2 será $\leq 0,1 \times S_1$.
2. Cuando el espesor de ambos miembros (T_1 o T_2) es $>0,063$ pulg. [1,6 mm], se cumplirán los requisitos de la Figura 5.12A.

Figura 5.12 B — Fusión incompleta de raíz en soldaduras de filete cuando el espesor de cualquiera de los miembros es igual o menor de 0,063 pulg. [1,6 mm]

5.4 Calificación del procedimiento de soldadura (Procedimiento)

5.4.1 Procedimiento de soldadura escrito. Todas las soldaduras producidas según los requisitos de la presente especificación deberán llevarse a cabo de acuerdo con un procedimiento de soldadura por escrito. La norma AWS B2.1 sugiere las directrices para los contenidos escritos del procedimiento de soldadura para los procesos de soldadura típicos tratados en este documento. La decisión final sobre el formato y contenido específico quedará a criterio del Responsable de Ingeniería.

5.4.1.1 Especificación del procedimiento de soldadura (WPS). La especificación del procedimiento de soldadura (WPS) deberá incluir las variables esenciales especificadas en el párrafo 5.4.2. La WPS puede ser documentada en un plano, enrutador de documentación de taller, orden de trabajo o documentos similares al formulario recomendado indicado en la Figura 5.13.

5.4.2 Calificación del procedimiento. Los procedimientos para las soldaduras de las clases A y B deben ser calificados. En las soldaduras manuales no es necesario calificar los ajustes de la máquina de soldar a menos que lo determine el Responsable de Ingeniería. Las soldaduras de la clase C no requieren calificación del procedimiento. Las relaciones entre las soldaduras de prueba y las de producción se basarán en las siguientes variables esenciales:

- (1) proceso de soldadura
- (2) grupo de composición del metal base
- (3) espesor del metal base
- (4) posición de soldadura
- (5) forma del metal base, lámina o tubo
- (6) tipo de soldadura, ranura o filete
- (7) tipo de protección utilizada
- (8) tipo y geometría del electrodo (GTAW/PAW)
- (9) metal de aporte utilizado
- (10) diseño de la junta
- (11) características eléctricas
- (12) requisitos de precalentamiento
- (13) requisitos del calentamiento posterior a la soldadura
- (14) otras variables requeridas por el Responsable de Ingeniería

5.4.2.1 Registro de la calificación del procedimiento (PQR). El constructor deberá establecer un sistema de registros para documentar el procedimiento de soldadura. El registro deberá incluir, pero no limitarse a:

- (1) Método de calificación
- (2) Métodos de prueba
- (3) Procedimientos
- (4) Criterios de aceptación
- (5) Resultados de la prueba
- (6) Aceptación

5.4.2.2 Métodos de prueba para la calificación de la especificación del procedimiento de soldadura. Para la calificación del procedimiento de soldadura se necesitan realizar las pruebas enumeradas en la tabla 5.5, a menos que se especifique lo contrario o el Responsable de Ingeniería emita una modificación. Los resultados de las pruebas se harán constar en el Registro de la calificación del procedimiento (PQR).

5.4.3 Método de calificación del procedimiento. La calificación del procedimiento de soldadura puede ser realizada de acuerdo con los requisitos de la norma AWS B2.1 según lo considere aplicable el Responsable de Ingeniería.

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la empresa
Proceso p procesos de soldadura
Número o números PQR de soporte

DISEÑO DE LA JUNTA

Tipo:

Simple ☐ Soldadura doble ☐Respaldo: Sí ☐ No ☐

Material de respaldo: No disp.

Abertura de la raíz _____ Dimensión de la cara _____

Ángulo de la ranura _____ Radio (J-U) _____

Ranurado del lado opuesto Sí ☐ No ☐ Método _____

METALES BASE

Especificación del material _____

Tipo o grado _____

Espesor: Ranura _____ Filete _____

Diámetro _____

METALES DE APORTE

Especificación _____

PROTECCIÓN

Fundente _____ Gas _____

Composición _____

Electrofundente (Clase) Caudal _____

Tamaño de la copa _____

PRECALENTAMIENTO

Temp. precalentamiento, Mín. _____

Temp. entre pasadas, Mín. _____ Máx. _____

Núm. de identificación

Revisión _____ Fecha _____ por _____

Autorizado por _____ Fecha _____

Tipo Manual ☐ Semiautomática ☐Mecanizada ☐ Automática ☐

Posición _____

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Características generales _____

Corriente CA ☐ DCEP ☐ DCEN ☐ Pulsada ☐

Otro _____

Electrodo de tungsteno (GTAW/PAW)

Tamaño: _____

Tipo: _____

TÉCNICA

Cordón estrecho o en zig-zag _____

Pasada múltiple o única (por lado) _____

Cantidad de electrodos _____

Martillado _____

Limpieza entre pasadas _____

Otro _____

CALENTAMIENTO POSTERIOR A LA SOLDADURA

Temp. _____

Tiempo _____

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pasada o	Metales de aporte			Corriente			Velocidad de desplazamiento	Detalles de la junta
Capas de soldadura	Proceso	Clase	Diám.	Tipo y polaridad	Amperios o velocidad de alimentación del alambre	Voltios		
					*	*	*	

* No disp. para proceso manual. Estos ajustes no son visibles para el soldador con la careta abajo

Figura 5.13—Formulario de la Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

Tabla 5.5
PQR de los requisitos de prueba

Prueba o ensayo	Soldadura de ranura	Soldaduras de filete	Soldadura de pernos	Revestimiento de soldadura
Inspección visual de acuerdo a la Sección 7	Sí	Sí	Sí	Sí
Ensayo de tracción	(Nota a)	(Nota a)	Sí o par de torsión	
Prueba de macroataque	(Nota a)	Sí	Sí ^a	
Prueba de doblado	(Nota c)	(Nota c)		
Ensayos de tenacidad a la fractura	(Nota a)			
Ensayo de tinte penetrante	Sí	Sí	Sí	Sí
Ensayo con partículas magnéticas	(Nota a)	(Nota a)	(Nota a)	(Nota a)
Ensayo radiográfico	(Nota a)	(Nota a)	(Nota a)	(Nota a)
Análisis químico				(Nota a)

^a Si está especificado en los documentos de ingeniería o por el Responsable de Ingeniería.

^b Los valores mínimos serán determinados por el Responsable de Ingeniería.

^c El uso de un examen macro en lugar de la prueba de doblado estará permitido solamente si el material es tal que la probeta no se puede doblar dentro de las limitaciones dimensionales indicadas en la norma AWS B4.0, *Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras*, o en el Apéndice C.

5.4.4 Métodos alternativos de calificación del procedimiento. Si no se pudiese aplicar el párrafo 5.4.3, la calificación del procedimiento de soldadura se podrá realizar mediante la soldadura de al menos un conjunto soldado para prueba del procedimiento de calificación, compuesto por cualquiera de los siguientes:

- (1) Una muestra simulada de la junta soldada.
- (2) Una pieza real.
- (3) Una soldadura de prueba que se pueda calificar.
- (4) Un conjunto soldado especial para prueba.
 - (a) Conjuntos soldados de prueba de servicio simulado.
 - (b) Conjuntos soldados de prueba especiales para estructura prototipo.
 - (c) Conjunto soldados de prueba especiales sin carga.

El Responsable de Ingeniería proporcionará los métodos de prueba y los criterios de aceptación para los conjuntos soldados de prueba a ser utilizados en la calificación de los procedimientos de soldadura.

5.4.5 Uso de la calificación existente. De manera alternativa, y en reemplazo del párrafo 5.4.2, se podrá aceptar un procedimiento de soldadura calificado existente como equivalente al requisito de esta especificación a entera discreción del Responsable de Ingeniería.

5.4.6 Formularios del registro de prueba de la WPS y del PQR. El contenido y el formato sugerido para los formularios de registro de pruebas de la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y el registro de calificación del procedimiento (PQR) se muestra en las Figuras 5.13 y 5.14. Estos formularios pueden ser modificados según sea necesario para satisfacer los requisitos del procedimiento de soldadura y de las instalaciones de fabricación.

6. Construcción

6.1 Alcance. Esta sección establece los requisitos para la construcción de conjuntos soldados.

6.2 Consumibles para soldadura

6.2.1 Identificación (alambre y varillas desnudas para soldadura, electrodos, insertos y fundentes). Los consumibles utilizados en soldadura se deberán identificar mediante una norma o especificación establecida o por una norma determinada en la especificación de la adquisición. Si la marca de identificación se destruye o se ha omitido, el consumible no deberá ser utilizado. Si el plano de ingeniería o un documento del contrato especifican la trazabilidad de los consumibles, ésta se deberá mantener durante todo el proceso de soldadura.

Registro de la calificación del procedimiento (PQR)

ENSAYO DE TRACCIÓN

Probeta N.º	Ancho pulg. [mm]	Espesor pulg. [mm]	Área pulg. [mm ²]	Carga de tracción máxima, lb [kg]	Esfuerzo unitario máximo, psi [MPa]	Carácter de falla y ubicación

PRUEBA DE DOBLADO

Probeta N.º	Tipo de doblado	Resultado	Comentarios

INSPECCIÓN VISUAL: inspección visual de acuerdo a la Sección 7 de la norma AWS D17.1/D17.1M

Tabla 7.1 _____ Ensayo radiográfico-ultrasónico

Pasa _____ N.º de informe RT _____ Resultado _____

No pasa _____ N.º de informe UT _____ Resultado _____

Aspecto _____ **RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LA SOLDADURA DE FILETE**

_____ Tamaño mínimo pasada múltiple Tamaño máximo pasada única

Presenciado por _____ Macroataque Macroataque

Inspeccionado por _____ 1 _____ 3 _____ 1 _____ 3 _____

2 _____ 4 _____ 2 _____ 4 _____

Otras pruebas (según corresponda):

Partículas magnéticas (MT) _____

Tinte penetrante _____

Nombre del soldador _____ N.º de id. _____ N.º de sello _____

Ensayos realizados por _____ Laboratorio:

Número de ensayo _____

De acuerdo a _____

El abajo firmante certifica que los requisitos de este registro son correctos y que las soldaduras de prueba se prepararon, soldaron y probaron de acuerdo con los requisitos de la norma AWS D17.1.

Firmado por _____

Fabricante o contratista

Título _____

Fecha _____

Figura 5.14—Formulario del Registro de la calificación del procedimiento (PQR)

6.2.2 Almacenamiento y utilización

6.2.2.1 Metales de aporte. Los materiales de aporte de soldadura se deben almacenar en un entorno limpio y seco. Los diferentes tipos de metal de aporte no se deberán mezclar durante el almacenamiento o el uso. En caso necesario, se deberá emplear un sistema de calentamiento para evitar la acumulación de humedad. Los electrodos con bajo contenido de hidrógeno para procesos SMAW y FCAW se deberán manejar y almacenar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o de las normas AWS A5.1/A5.1M, A5.5/A5.5M, A5.20/A5.20M o A5.29/A5.29M, según corresponda.

6.2.2.2 Fundentes de soldadura. Los fundentes se etiquetarán y separarán por tipo y/o por su aplicación particular. Los fundentes deberán ser almacenados en recipientes cerrados o mantenidos en un entorno correctamente limpio y seco para evitar la absorción de humedad. El fundente limpio que no se haya fundido se puede volver a utilizar después del reacondicionamiento indicado en las recomendaciones del fabricante.

6.2.3 Gases

6.2.3.1 Especificación para la adquisición de gas. Los gases para soldadura y de protección se deberán comprar de acuerdo con los requisitos de la Tabla 6.1 o los de la norma AWS A5.32/A5.32M. Los gases también se pueden adquirir de acuerdo a las especificaciones alternativas de la Tabla 6.1, con la aprobación del Responsable de Ingeniería.

6.2.3.2 Gas o gases de protección. Cuando el proceso de soldadura requiere el uso de un gas de protección, los gases o las mezclas de gases designados en la Tabla 6.2 son los recomendados para cada uno de los diferentes materiales de base. Cuando las piezas están soldadas mediante una Especificación de procedimiento de soldadura (WPS) calificada, la composición química, el porcentaje en volumen y el caudal de cada gas deberán estar especificados en la WPS calificada.

Tabla 6.1
Requisitos del gas^a

Gas	Especificación	Especificación alternativa
Argón	MIL-A-18455	CGA G-11.1
Helio	BB-H-1168	CGA G-9.1
Oxígeno	B-O-925, tipo I o II	CGA G-4.3
Nitrógeno	BB-N-411, tipo I o II, Clase 1, Grado B	CGA G-10.1
Hidrógeno	BB-H-886, tipo I o II	CGA G-5.3
Acetileno	BB-A-106, Grado B	CGA G-1.1
Dióxido de carbono	BB-C-101, grado B	CGA G-6.2
Mezclas de gases	La pureza de los gases en la mezcla deberá ser como se especifica para cada uno de los gases indicados anteriormente. La composición de la mezcla de gases deberá ser la especificada por el <u>Responsable de Ingeniería</u> .	

^a Consulte el párrafo 6.2.3.1

Tabla 6.2
Gases de protección recomendados para soldadura^a

Material	Gas ^b							
	Ar	He	Ar-He	Ar-O ^c	Ar-H	N	CO ₂	Ar-CO ₂
Aluminio y sus aleaciones	X	X	X					
Cobalto y sus aleaciones	X	X	X		X			
Cobre y sus aleaciones	X	X	X					
Magnesio y sus aleaciones	X	X	X					
Níquel y sus aleaciones	X	X	X					
Aleaciones de <u>acero inoxidable</u>	X	X	X	X		(Nota d)		
Aceros al carbono comunes	X	X	X	X			(Nota e)	(Nota e)
Aceros de baja aleación	X	X	X	X				(Nota e)
Titanio y sus aleaciones	X	X	X					

^a Consulte el párrafo 6.2.3.2

^b Las composiciones del gas y las mezclas deberán cumplir con lo expresado en la Tabla 6.1.

^c 8 % de oxígeno (máximo).

^d Recomendado únicamente para respaldo.

^e Recomendado únicamente para aceros al carbono o aceros de baja aleación comunes con un máximo de 0,25 % de carbono nominal.

6.3 Equipos de soldadura. Los equipos para soldadura (máquinas de soldar, antorchas, reguladores, alimentadores de material de aporte, etc.) serán capaces de producir soldaduras que cumplan con los criterios de aceptación especificados en la Sección 7. Cuando un soldador, operario de soldadura o ingeniero de soldadura tenga dudas acerca de la capacidad de los equipos para funcionar satisfactoriamente, éstos no deberán ser utilizados sin llevar a cabo previamente las reparaciones o ajustes necesarios. Los equipos de soldadura deberán ser capaces de mantener la calidad y la uniformidad de la soldadura.

6.3.1 Calibración.

6.3.1.1 Medidores, indicadores y esferas graduadas. Los medidores, indicadores y esferas graduadas instalados en aparatos de soldadura automática, mecanizada o robotizada se deberán calibrar mediante el uso de un procedimiento establecido.

6.3.1.2 Medidores de flujo de gas y manómetros. Los medidores de flujo de gas y los manómetros son para referencia solamente. No requieren calibración.

6.3.1.3 Procedimientos de calibración. El constructor deberá establecer y documentar los procedimientos de calibración correspondientes.

6.3.1.4 Período de calibración. Las calibraciones requeridas se deberán realizar en un intervalo de dos (2) años o menos. También se deberán efectuar las calibraciones requeridas cuando los medidores, indicadores y esferas graduadas hayan sido afectados por las reparaciones realizadas a los equipos de soldadura, ya sean mecanizados, automáticos o robóticos.

6.4 Ajustes de soldadura. Cuando las piezas están soldadas mediante una WPS calificada, los ajustes de soldadura se deberán configurar dentro de los límites especificados en la WPS.

6.4.1 Pruebas de reproducibilidad para los ajustes calificados de la máquina de soldadura

6.4.1.1 Aplicabilidad de los requisitos. Estos requisitos son aplicables únicamente a los equipos automáticos, mecanizados y robóticos. La prueba de reproducibilidad se deberá realizar de acuerdo con el párrafo 6.4.1.2 cuando ocurra cualquiera de las siguientes condiciones:

- (1) El equipo no puede producir una soldadura de calidad aceptable mediante la aplicación de los ajustes establecidos en una WPS calificada.
- (2) Un componente principal del equipo ha sido reparado o sustituido (como lo ha determinado el constructor).

6.4.1.2 Requisitos de la prueba. La prueba de reproducibilidad se deberá realizar de acuerdo a un procedimiento escrito. El procedimiento escrito establecerá los parámetros de soldadura, la configuración de la probeta de ensayo y los criterios de aceptación para la probeta o probetas soldadas.

6.5 Limpieza y otros preparativos previos a la soldadura

6.5.1 Limpieza superficial. Todas las superficies a soldar y las superficies que puedan afectar a la calidad de la soldadura resultante (por ejemplo, los materiales de aporte de soldadura y montajes) deberán estar libres de escoria, oxidación superficial, incrustaciones, acabados protectores, aceites, grasa, suciedad o cualquier otro contaminante. Los métodos de limpieza química (por ejemplo, limpieza alcalina, limpieza con disolventes o decapado) o por medios mecánicos (por ejemplo, cepillado con cepillo de alambre, raspado, chorro abrasivo o mecanizado) se deberán utilizar antes de la soldadura, según sea necesario, para asegurar el cumplimiento de estos requisitos.

PRECAUCIÓN: Los disolventes clorados o el alcohol metílico no se deberán utilizar para limpiar titanio o aleaciones de titanio.

PRECAUCIÓN: Los cepillos de alambres de acero inoxidable austenítico o de acero al carbono se pueden utilizar en aceros al carbono o aceros de baja aleación. En todos los otros materiales a soldar solo se podrán utilizar cepillos de alambres de acero inoxidable austenítico. En caso de que un cepillo de alambre se comience a utilizar en la limpieza de un material de un grupo particular (por ejemplo, aleaciones a base de titanio, aluminio o níquel), el cepillo se deberá identificar adecuadamente y se deberá continuar utilizando únicamente en el mismo grupo de materiales.

6.5.2 Contaminación de las superficies limpiadas. Las superficies limpiadas se deberán proteger de la contaminación. Si la superficie se contamina, se deberá limpiar de nuevo mediante uno de los métodos especificados en el párrafo 6.5.1 antes de la soldadura.

6.6 Preparación y ajustes de la junta previos a la soldadura

6.6.1 Preparación de la junta. El borde de cada miembro de la junta se deberá preparar de acuerdo a lo especificado por los símbolos de soldadura del plano de ingeniería.

NOTA: el Apéndice A proporciona las directrices para la preparación de la junta.

6.6.2 Ajuste de la abertura entre los miembros. A menos que se especifique lo contrario en el plano de ingeniería, los tolerancias de ajuste entre los miembros se realizarán de conformidad con el Apéndice A.

6.6.3 Ajuste de la junta pestañada. El ajuste de la junta pestañada se deberá realizar de acuerdo con los símbolos de soldadura del plano de ingeniería.

NOTA: el Apéndice A proporciona las directrices para el ajuste de la junta pestañada.

6.6.4 Junta entre miembros de distinto espesor

6.6.4.1 Preparación de los miembros de la junta. Los miembros de la junta se deberán preparar como se indica en la Figura 6.1 cuando existan las siguientes condiciones:

- (1) el plano de ingeniería especifica una soldadura con penetración total
- (2) el espesor de ambos miembros de la junta es mayor de 0,125 pulg. [3,2 mm]
- (3) la relación de espesor entre los miembros de la junta es igual o mayor de: 1.5:1

6.7 Control de las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas. Las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas se deberán establecer para los materiales susceptibles de agrietamiento durante o después de la soldadura. Las temperaturas que pueden reducir la tendencia a formar grietas estarán incluidas en las WPS y se deberán emplear durante la soldadura de producción del componente.

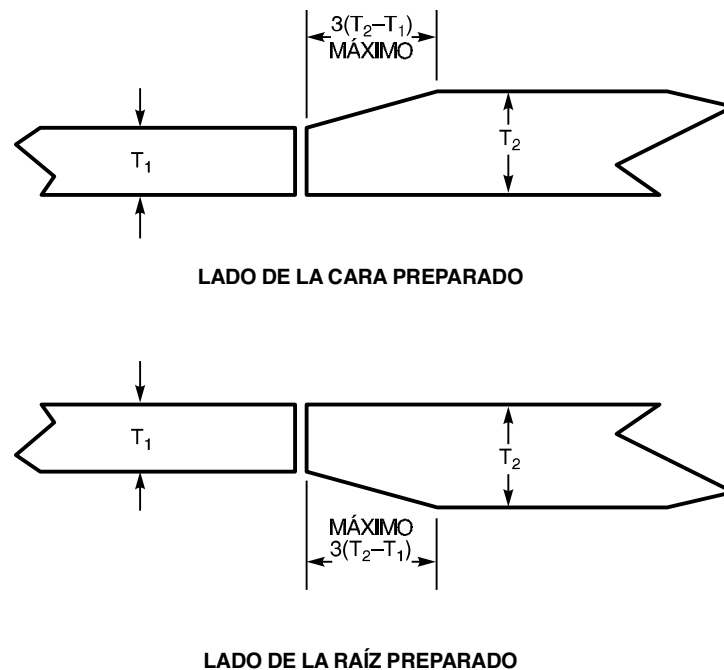
NOTA: la Tabla 6.3 proporciona las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas recomendadas para algunos materiales.

6.8 Soldaduras de punteado. El material de aporte utilizado en las soldaduras de punteado deberá ser el mismo que el empleado para la soldadura subsiguiente a menos que se especifique lo contrario en el plano de ingeniería o en la WPS calificada y aprobada por el Responsable de Ingeniería. Las soldaduras de punteado quedarán incorporadas en la soldadura subsiguiente a menos que sean eliminadas en otro proceso. Durante las operaciones de soldadura de punteado se deberán considerar los requisitos establecidos en los párrafos 6.6 y 6.7.

6.9 Lengüetas de inicio y terminación de la soldadura. Las lengüetas de inicio y terminación de la soldadura, si se utilizan, deberán estar compuestas por la misma aleación que los miembros de la junta. Estas áreas se deberán soldar con el mismo material de aporte especificado en el plano de ingeniería o en la WPS calificada y aprobada por el Responsable de Ingeniería.

6.10 Protección de la soldadura en los procesos GTAW, GMAW y PAW. La soldadura y las zonas afectadas por el calor (incluyendo el metal de soldadura depositado detrás del charco de soldadura en materiales reactivos como el titanio y sus aleaciones) deberán estar protegidas contra la oxidación durante la soldadura. El método de protección se deberá incluir en la WPS. Durante la soldadura de materiales reactivos como el titanio y sus aleaciones, se deberá utilizar gas de protección de respaldo. El gas de respaldo deberá estar especificado en la WPS calificada.

6.11 Electrodo de tungsteno. Si se deben utilizar electrodos de tungsteno, éstos deberán conformar la norma AWS A5.12M/A5.12 (ISO 6848 MOD), *Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting* (Especificación para electrodos de tungsteno o de tungsteno aleado para soldadura y corte por arco).



Nota: consulte el párrafo 6.6.4.1.

Figura 6.1—Preparación de la junta en miembros de distinto espesor

6.12 Materiales de aporte. Todo proceso de soldadura que requiera material de aporte solo se deberá realizar con la utilización del material de aporte especificado en el plano de ingeniería o en la WPS calificada y aprobada por el Responsable de Ingeniería. Si un material de aporte no está especificado, la soldadura no se deberá realizar hasta que el Responsable de Ingeniería proporcione la información pertinente de material de aporte. Este requisito no es aplicable para las soldaduras autógenas (soldaduras hechas sin material de aporte). La información del material de aporte suministrada en las Tablas 6.4, 6.5 y 6.6 es a título orientativo general y no se deberá utilizar para la selección del metal de aporte sin el consentimiento del Responsable de Ingeniería.

6.13 Limpieza entre pasadas. La limpieza entre pasadas se deberá realizar mediante uno de los métodos mecánicos especificados en el párrafo 6.5.1.

6.13.1 Limpieza entre pasadas de titanio y aleaciones de titanio. La limpieza entre pasadas en piezas de titanio o de aleación de titanio solo se deberá realizar tras la inspección visual y la aceptación de la decoloración de la superficie de acuerdo con los requisitos de la Tabla 7.1.

6.14 Soldadura y conjuntos soldados. La soldadura de los miembros de la junta y el conjunto soldado resultante deberá cumplir con los requisitos especificados en las subsecciones siguientes:

Tabla 6.3
Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas^a

Metal base utilizado en la soldadura	Temperaturas recomendadas de precalentamiento y entre pasadas
Acero al carbono y aleado con 0,35 % de carbono equivalente o mayor ^b	600 ° F máximo ^{b,c} [315,5 ° C máximo]
Aleaciones de magnesio en condición F	450 ° F a 500 ° F [232 ° C a 260 ° C]
Aleaciones de magnesio en condición T	250 ° F a 300 ° F [121 ° C a 149 ° C]

^a Consulte el párrafo 6.7

^b El método proporcionado en la norma AWS D1.1/D1.1M se puede utilizar para determinar el carbono equivalente, la temperatura de precalentamiento y la temperatura entre pasadas.

^c Esta es la temperatura máxima. El usuario deberá escoger una temperatura igual o menor a la indicada que resulte adecuada para emplear en las soldaduras de producción, en función de la configuración de la pieza y el entorno en el que se realiza la soldadura.

Tabla 6.4
Metal de aporte para soldadura en aleaciones de aluminio mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW^a

Metal base	Material de aporte	Especificación del material de aporte
1100	ER1100 o ER4043	AWS A5.10/A5.10M
3003	ER1100 o ER4043	AWS A5.10/A5.10M
2219	ER2319	AMS 4191 o AWS A5.10/A5.10M
5052	ER5356 o ER 4043	AWS A5.10/A5.10M
6013	ER4043	AWS A5.10/A5.10M
6061	ER4043 o ER 5356	AWS A5.10/A5.10M

^a Consulte los párrafos G4.12 y 6.12.

Tabla 6.5
Metal de aporte para soldadura en aleaciones de titanio mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW^a

Metal base	Material de aporte	Especificación del material de aporte
Titanio puro de calidad comercial	CP ERTi-4	AMS 4951 AWS A5.16/A5.16M
3Al-2.5V Ti	ERTi-3Al-2.5V	AWS A5.16/A5.16M
5Al-2.5Sn Ti	5Al-2.5Sn ERTi-5Al-2.5Sn	AMS 4953 AWS A5.16/A5.16M
6Al-4V o 6Al-4VELI	6-4 ERTi-6Al-4V	AMS 4956 AWS A5.16/A5.16M

^a Consulte los párrafos G4.12 y 6.12.

Tabla 6.6
Metal de aporte para soldadura en acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor
mediante los procesos GMAW, GTAW y PAW^a

Metal base	Material de aporte	Especificación del material de aporte
304L y 316L	ER308L	AWS A5.9/A5.9M
321 y 347	ER321 o ER347	AWS A5.9/A5.9M
A286	A286	AMS 5804 o AMS 5805
21-6-9	ER219	AWS A5.9/A5.9M
PH13-8Mo	WPH 13-8Mo ELC	AMS 5840
PH15-7Mo	WPH 15-7Mo-VM	AMS 5812
PH 15-5	15-5PH o ER630	AMS 5826 o AWS A5.9/A5.9M
PH 17-4	WPH 17-4 o ER630	AMS 5825 o AWS A5.9/A5.9M
PH 17-7	PH 17-7	AMS 5824
	WPH 15-7Mo-VM	AMS 5812
Inconel® 600	ERNiCrFe-5	AWS A5.14/A5.14M
Inconel® 625	Inconel® 625	AMS 5837
	Hastelloy® W o ERNiMo-3	AMS 5786 o AWS A5.12M/5.12
Inconel® 718	Inconel® 718	AMS 5832
Inconel® X750	ERNiCrFe-7	AWS A5.14/A5.14M

^a Consulte los párrafos G4.12 y 6.12.

6.14.1 Ajustes de soldadura. Antes de iniciar un ciclo de soldadura, se deberán ajustar los equipos de soldadura con los valores indicados en la WPS calificada.

6.14.1.1 Cebado del arco. El arco de soldadura no se deberá iniciar en cualquier área del metal base alejada de las superficies a unir. Cuando la pieza presente un área con marcas que indiquen el inicio de un arco o la quemadura producida por un arco, fuera del depósito de metal de soldadura, la soldadura se deberá rechazar de acuerdo a lo requerido en la Sección 7.

6.14.2 Corrección durante el proceso. Cualquier corrección de una soldadura hecha por el soldador antes de presentar el conjunto soldado para la inspección de aceptación de acuerdo con la Sección 7 es una corrección durante el proceso. La corrección no deberá cambiar la condición metalúrgica o física del metal base. La corrección se deberá realizar antes de someter la soldadura a cualquier operación de tratamiento térmico. Antes de iniciar una corrección durante el proceso, las superficies a soldar se deberán limpiar para eliminar el óxido y otros contaminantes de acuerdo con el párrafo 6.5.1.

6.14.2.1 Soldaduras realizadas utilizando material de aporte. Para las soldaduras hechas con material de aporte se aplica lo siguiente:

- (1) Las socavaciones, subllenados o cráteres (sin grietas) serán considerados como depresiones superficiales y se deberán corregir mediante el depósito de material de aporte (igual al utilizado en la soldadura original) uniformemente difundido en la soldadura y en el metal base.
- (2) Los traslapes, refuerzos de soldadura o cualquier otra porción sobresaliente pueden ser eliminados mediante un método de remoción de metal que no degrade las propiedades del material. Las correcciones se deberán realizar de tal forma que el tamaño de la soldadura y el espesor del metal base se mantengan dentro de las tolerancias del plano. El cordón de soldadura corregido deberá cumplir con la Sección 6.14.3.

6.14.2.2 Soldaduras mecanizadas, automáticas o autógenas. Las correcciones realizadas durante el proceso mediante soldaduras no manuales o autógenas se podrán llevar a cabo siempre que se emplee el mismo proceso y los mismos parámetros utilizados en la soldadura original. Se podrá utilizar cualquier otro proceso o parámetros únicamente cuando el plano de ingeniería o los documentos del contrato admitan esa corrección.

6.14.2.3 Cantidad de intentos de corrección permitidos durante el proceso. Durante el proceso se permite un solo intento de corrección en la ubicación de cada defecto. Si la corrección durante el proceso requiere más de un intento en el lugar de un mismo defecto, la combinación de correcciones deberá estar calificada como la soldadura original (con la WPS y el POR correspondientes) o aprobada por la Junta de revisión de materiales apropiada.

6.14.2.4 Documentación de la corrección durante el proceso. Si el Responsable de Ingeniería lo requiere, el historial de la corrección durante el proceso deberá ser documentado. El método y el alcance de la documentación deberá ser lo acordado entre el Responsable de Ingeniería y el constructor.

6.14.3 Eliminación del refuerzo de soldadura. La remoción del refuerzo de soldadura se deberá llevar a cabo mediante métodos que no reduzcan el espesor del metal base. El refuerzo de soldadura solo será eliminado por uno o más de los siguientes motivos:

- (1) Cuando esté especificado en las notas del plano de ingeniería o por el símbolo de soldadura. (La remoción no deberá exceder los límites especificados en el plano de ingeniería o en cualquier otro documento contractual).
- (2) Cuando sea necesario para ayudar en la interpretación de las indicaciones de la inspección no destructiva. El refuerzo restante deberá ser claramente visible por encima del plano de la superficie del miembro adyacente a la junta y se extenderá a todo el ancho del cordón de soldadura. La zona del pie de la soldadura deberá cumplir con los requisitos de la Sección 7.
- (3) Cuando el ajuste o la función del montaje final haga necesaria la eliminación de material. El refuerzo restante deberá ser claramente visible por encima del plano de la superficie del miembro adyacente a la junta y se extenderá a todo el ancho del cordón de soldadura. La zona del pie de la soldadura deberá cumplir con los requisitos de la Sección 7.

6.15 Limpieza posterior a la soldadura. Todo el conjunto soldado deberá estar libre de salpicaduras, fundente, incrustaciones, escoria y materias extrañas. La eliminación de estos materiales durante la limpieza posterior a la soldadura no deberá reducir el tamaño del cordón de soldadura ni el espesor del metal base por debajo de las tolerancias indicadas en el plano de ingeniería.

6.15.1 Limpieza posterior a la soldadura en piezas de titanio o de aleación de titanio soldadas. La limpieza posterior a la soldadura en piezas de titanio o de aleación de titanio soldadas solo se deberá realizar tras la inspección visual y la aceptación de la decoloración de la superficie de acuerdo con los requisitos de la Tabla 7.1.

6.16 Procesamiento posterior a la soldadura. Los procesos de alivio de tensiones, tratamiento térmico o cualquier otro tipo de procesamiento posterior a la soldadura realizado sobre un conjunto soldado se deberán ejecutar de acuerdo con lo indicado en el plano de ingeniería o en la WPS calificada.

6.17 Requisitos de identificación de soldaduras

6.17.1 Identificación provisional. Cada soldador u operador de soldadura deberá identificar su trabajo provisional mediante el marcado del conjunto soldado o a través de su identificación en las órdenes de trabajo internas del taller. También se podrán emplear métodos alternativos de seguimiento que cuenten con la aprobación del Responsable de Ingeniería. La identificación provisional acompañará a la soldadura a través de la inspección final. Los métodos y los materiales de marcado no deberán perjudicar al metal base ni interferirán con las operaciones posteriores.

6.17.2 Identificación final. Cada conjunto soldado o la documentación que acompañe a cada conjunto soldado se deberá marcar como se indica a continuación:

- (1) fecha de la soldadura
- (2) firma del soldador o el sello o código asignado al soldador
- (3) fecha de la inspección de la soldadura
- (4) firma del inspector de soldadura o el sello o código asignado al inspector

6.18 Inspección de aceptación. El conjunto soldado completo se enviará a la organización de aseguramiento de la calidad del constructor o su representante para la inspección de aceptación. La inspección de aceptación se deberá realizar de conformidad con la Sección 7.

6.19 Reelaboración. La reelaboración es toda acción correctiva realizada en una soldadura en condición como de recién soldada tras la inspección de aceptación. La acción correctiva deberá lograr que el conjunto soldado cumpla totalmente con el plano de ingeniería y los requisitos de esta especificación. Excepto lo especificado en este documento, cada requisito del párrafo 6.14 se aplica para la reelaboración.

6.19.1 Cantidad de intentos de reelaboración permitidos. La cantidad de intentos de reelaboración permitidos deberá ser la establecida en la WPS y en el POR correspondientes.

6.19.2 Reelaboración del área de raíz. Una soldadura con penetración inadecuada o fusión incompleta en la raíz puede ser corregida por medio de soldadura desde el lado de la raíz. Para ello se deberá preparar de forma adecuada el lado de la raíz hasta alcanzar el metal original limpio antes de la soldadura. La superficie preparada deberá estar uniformemente expuesta en todas las áreas a ser fusionadas en la reelaboración.

6.19.3 Documentación del trabajo de reelaboración. Todas las operaciones que intervienen en el trabajo de reelaboración se deberán documentar mediante un método aprobado por el Responsable de Ingeniería.

6.19.4 Inspección del trabajo de reelaboración. El conjunto soldado reelaborado se deberá someter a una inspección de aceptación de conformidad con la Sección 7.

6.20 Reparación. La reparación es toda acción correctiva realizada en una pieza ordenada por el Cliente o por su representante (Junta de revisión de materiales). Las reparaciones se pueden realizar para corregir discrepancias en las soldaduras u otros defectos.

6.20.1 Instrucciones de reparación. El Responsable de Ingeniería o su representante deberán suministrar instrucciones detalladas para la reparación que deberán incluir, sin estar limitadas a, las siguientes:

- (1) cantidad permitida de correcciones de la soldadura durante la reparación
- (2) documentación requerida
- (3) detalles de cada operación (incluida la inspección de aceptación) que interviene en la reparación

6.21 Requisitos del registro. Cada contratista deberá mantener registros de los consumibles, calibraciones, correcciones durante el proceso, reelaboraciones y reparaciones de acuerdo con los requisitos especificados en este documento. Los registros se conservarán durante un mínimo de siete años o durante el período especificado por el Responsable de Ingeniería. Los registros escritos serán puestos a disposición del Responsable de Ingeniería bajo pedido.

7. Inspección

7.1 Calificación del personal de inspección

7.1.1 Calificación del personal de NDE. El personal a cargo de los ensayos no destructivos se deberá calificar de acuerdo con la norma NAS 410 u otra norma NDE que sea satisfactoria para el Responsable de Ingeniería. Cuando el contrato, orden de compra o los planos de ingeniería especifiquen el uso de un método de ensayo no incluido actualmente en el NAS 410, el fabricante será responsable de desarrollar y presentar ante el Responsable de Ingeniería el programa de capacitación, las prácticas escritas, los exámenes y las demostraciones prácticas equivalentes a los requisitos de la norma NAS 410 u otras normas. Estos deberán establecer la capacidad del personal que realice el ensayo requerido.

7.1.2 Inspectores visuales de soldadura. El personal que realice las inspecciones visuales de soldadura deberá estar certificado de acuerdo con los requisitos de la norma AWS QC1 o por los requisitos de experiencia, capacitación y pruebas definidos en la norma AWS B5.2 y aprobados por el Responsable de Ingeniería.

7.2 Pruebas de la vista. El personal de inspección visual de soldadura y de NDE deberá pasar un examen anual de la vista. El examen de la vista deberá ser administrado por personal capacitado, designado como responsable de Nivel III o por personal médico calificado. El nivel de aceptación para el examen de la vista será, con o sin lentes correctivas, una agudeza visual de corta distancia de manera que la persona sea capaz de leer una de las siguientes tablas: Jaeger J1 a 12 pulg. [300 mm], Jaeger J2 a 16 pulg. [400 mm] o Snellen en español a 12 pulg. [300 mm]. Estas pruebas de la vista se pueden sustituir por otras equivalentes siempre que la equivalencia sea verificada por un optometrista matriculado. La visión lejana deberá ser de 20/30 o mejor, con o sin lentes correctivas en cualquier cjo.

7.3 Inspección visual de soldaduras. Todas las soldaduras se deberán inspeccionar visualmente para conformar los requisitos del plano.

7.4 Inspección no destructiva. Las inspecciones NDT se deben llevar a cabo mediante procedimientos escritos aprobados por un inspector NDT de Nivel III, certificado en el método de inspección apropiado.

7.4.1 Inspección con líquido penetrante (PT). Todas las soldaduras con materiales no ferromagnéticos de las Clases A y B se deberán inspeccionar mediante el uso de un sistema de líquido penetrante de Tipo I aprobado, cualquier método, con nivel de sensibilidad 2 o mejor, con o sin revelador, según la norma ASTM E1417. Las soldaduras con materiales ferrosos de las Clases A y B se deberán inspeccionar con líquido penetrante cuando así esté especificado en el plano o en el contrato. Las soldaduras con materiales ferrosos de las Clases A y B se deberán inspeccionar con líquido penetrante cuando así esté especificado en el plano o en el contrato. La inspección con líquidos penetrantes se deberá llevar a cabo de acuerdo con la norma ASTM E 1417 o su equivalente.

7.4.2 Inspección con partículas magnéticas (MT). Todas las soldaduras con materiales ferromagnéticos de las Clases A y B se deberán inspeccionar con partículas magnéticas mediante el uso de un método continuo fluorescente en suspensión líquida de acuerdo con ASTM E 1444 o equivalente, a menos que el plano o el contrato exija la inspección mediante líquido penetrante. Las soldaduras con materiales ferrosos de la Clase C se deberán inspeccionar con partículas magnéticas cuando así esté especificado en el plano o en el contrato.

7.4.3 Inspección radiográfica (RT). Todas las soldaduras de ranura de la Clase A deberán ser inspeccionadas mediante métodos radiográficos de acuerdo con ASTM E 1742 o equivalente, a menos que el plano o el contrato exijan la inspección por ultrasonidos. En el caso de las soldaduras de filete o las de ranura con penetración parcial que requieran de inspección mediante métodos radiográficos, los criterios de aceptación de la raíz deberán ser determinados por el Responsable de Ingeniería. Las soldaduras con materiales de las Clases B y C se deberán inspeccionar mediante métodos radiográficos cuando así esté especificado en el plano o en el contrato.

7.4.4 Inspección por ultrasonidos (UT). La inspección por ultrasonido puede ser empleada en reemplazo de la inspección radiográfica cuando así sea especificado por el plano, el contrato o por el Responsable de Ingeniería. Las inspecciones por ultrasonido se deberán llevar a cabo de acuerdo con la norma AMS-STD-2154 o su equivalente. Cuando se indique una inspección ultrasónica de inmersión, la norma aprobada deberá determinarse por el Responsable de Ingeniería.

7.4.5 Ensayo de la prueba (PRT). El ensayo de la prueba se puede utilizar junto con o en reemplazo de los métodos de inspección indicados en los párrafos 7.4.1, 7.4.2, 7.4.3 y 7.4.4 cuando así sea requerido por el plano, el contrato o las indicaciones del Responsable de Ingeniería (vea el Apéndice G—Comentarios).

7.4.6 Otros ensayos no destructivos. Los ensayos no destructivos, procedimientos, técnicas, equipos o materiales (por ejemplo, emisión acústica, electromagnética o corrientes parásitas, fugas, radiografía de neutrones, etc.) no tratados específicamente en este documento pueden ser usados junto con las pruebas indicadas en el plano o el contrato. Cuando se hayan indicado uno o más de estos métodos de inspección, el Responsable de Ingeniería determinará la norma aprobada.

7.5 Criterios de aceptación

7.5.1 Generalidades. La dimensión de cualquier discontinuidad se deberá definir por su dimensión mayor. Dos o más discontinuidades serán tratadas como una cuando la separación entre ellas sea menor que la dimensión de la mayor discontinuidad. Las discontinuidades que serán eliminadas en el mecanizado posterior no deben ser causa de rechazo. Cualquier conjunto soldado con discontinuidades inaceptables que haya sido sometido a una operación de fabricación posterior que afecte las características metalúrgicas (excepto la eliminación de la fragilidad por hidrógeno) o que no se pueda volver a soldar sin afectar las características metalúrgicas o superficiales finales, deberá ser rechazado. Se permite eliminar el metal de la soldadura cuando este sea considerado inaceptable siempre que el tamaño mínimo de la soldadura sea alcanzado. Durante la eliminación de las discontinuidades se acepta la eliminación accidental de metal base siempre que se cumplan los requisitos relativos al espesor mínimo y cualquier otro requisito de ingeniería (por ejemplo, la rugosidad de la superficie). En el caso de conjuntos soldados con variaciones en la sección transversal a lo largo de la junta, se deberá tener en cuenta que el espesor deberá ser el mínimo en la discontinuidad.

7.5.2 Soldaduras aceptables. Las soldaduras serán aceptables si cumplen las condiciones de la Tabla 7.1. Las soldaduras que no cumplan estos requisitos serán rechazadas.

Tabla 7.1
Criterios de aceptación pulg. [mm]

Discontinuidad	Clase A	Clase B	Clase C
Grietas	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Traslape (solape en frío)	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Fusión incompleta	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Penetración incompleta^a	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Porosidad—Superficial			
Máximo tamaño individual	0,25 T o 0,030 [0,76], el que sea menor	0,33 T o 0,060 [1,50], el que sea menor	0,50 T o 0,090 [2,30], el que sea menor
Espaciamiento mínimo	8 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	4 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	2 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente
Longitud acumulada en cualquier tramo de soldadura de 3 pulg. [75 mm] (máximo)	1 T o 0,12 [3,00], el que sea menor	1,33 T o 0,24 [6,00], el que sea menor	2 T o 0,36 [9,00], el que sea menor
Porosidad—Subsuperficial			
Máximo tamaño individual	0,33 T o 0,060 [1,50], el que sea menor	0,50 T o 0,090 [2,30], el que sea menor	No aplicable
Espaciamiento mínimo	4 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	2 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	No aplicable
Longitud acumulada en cualquier tramo de soldadura de 3 pulg. [75 mm] (máximo)	1,33 T o 0,24 [6,00], el que sea menor	2 T o 0,36 [9,00], el que sea menor	No aplicable

Tabla 7.1 (continuación)
Criterios de aceptación pulg. [mm]

Discontinuidad	Clase A	Clase B	Clase C
Inclusiones			
Máximo tamaño individual	0,33 T o 0,060 [1,50], el que sea menor	0,50 T o 0,090 [2,30], el que sea menor	No aplicable
Espaciamiento mínimo	4 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	2 veces el tamaño de la mayor imperfección adyacente	No aplicable
Longitud acumulada en cualquier tramo de soldadura de 3 pulg. [75mm]—(máximo)	1,33 T o 0,24 [6,00], el que sea menor	2 T o 0,36 [9,00], el que sea menor	No aplicable
Socavación			
Para la máxima profundidad a todo lo largo de la soldadura	0,002 [0,05]	0,015 T o 0,002 [0,05], el que sea mayor	0,025 T o 0,002 [0,05], el que sea mayor
Máximo tamaño del defecto	0,07 T o 0,030 [0,76], el que sea menor	0,10 T o 0,050 [1,27], el que sea menor	0,20 T o 0,070 [1,78], el que sea menor
Longitud acumulada en cualquier tramo de soldadura de 3 pulg. [75mm] (máximo)	0,20 [5,08]	0,60 [15,24]	1,00 [25,4]
Falta de llenado de raíz o de cara (soldaduras de ranura)			
Para la máxima profundidad a todo lo largo de la soldadura	0,005 [0,130]	0,015 T o 0,005 [0,130], el que sea mayor	0,025 T o 0,005 [0,130], el que sea mayor
Defecto individual (máxima profundidad)	0,07 T o 0,030 [0,76], el que sea menor	0,10 T o 0,050 [1,27], el que sea menor	0,20 T o 0,070 [1,78], el que sea menor
Longitud acumulada en cualquier tramo de soldadura de 3 pulg. [75 mm] (máximo)	0,20 [5,10]	0,60 [15,2]	1,00 [25,4]
Cráteres			
Profundidad máxima	0,20 T o 0,03 [0,80], el que sea menor	0,20 T o 0,05 [1,30], el que sea menor	0,20 T o 0,05 [1,30], el que sea menor
Longitud máxima	1 T	1 T	2 T
Marcas de cebado (golpes) de arco o de ranurado	Inaceptable	Inaceptable	No hay un requisito establecido
Refuerzo de soldadura (soldaduras mecanizadas)			
Materiales de hasta 0,375 [9,53]	1/3 T o 0,030 [0,76], el que sea mayor	No hay un requisito establecido	No hay un requisito establecido
Materiales de más de 0,375 [9,53]	0,125 [3,18] (máximo)	No hay un requisito establecido	No hay un requisito establecido
Perforación por fusión	Véase las Figuras A.2, A.3(a), A.3(b)	Véase las Figuras A.2, A.3(a), A.3(b)	Véase las Figuras A.2, A.3(a), A.3(b)
Refuerzo de soldadura—(soldaduras manuales)			
Materiales hasta 0,125 [3,18]	1 T (máximo)	No hay un requisito establecido	No hay un requisito establecido
Materiales desde 0,125 hasta 0,510 [3,18 a 12,9]	1/3 T o 0,100 [2,54], el que sea mayor	No hay un requisito establecido	No hay un requisito establecido
Materiales de más de 0,510 [12,9]	0,170 [4,32] (máximo)	No hay un requisito establecido	No hay un requisito establecido
Desajuste entre los miembros después de la soldadura	Consulte el párrafo 7.5.2.1 y la Figura 7.2 Incluye las clases de soldadura A, B y C		
Soldaduras de filete			
Perfiles de soldadura	Véase la Figura 7.1.	Véase la Figura 7.1.	Véase la Figura 7.1.

Tabla 7.1 (continuación)
Criterios de aceptación pulg. [mm]

Discontinuidad	Clase A	Clase B	Clase C
Tamaño de la soldadura de filete (cuando el tamaño de la soldadura de filete está definido en el plano)			
Tamaño mínimo	Como lo indica el símbolo de soldadura	Como lo indica el símbolo de soldadura	Como lo indica el símbolo de soldadura
Tamaño de la soldadura de filete (cuando el tamaño mínimo de la soldadura de filete no está definido en el plano)			
Tamaño mínimo (filete de un solo lado)	1,5 T	1,5 T	1,5 T
Tamaño mínimo (filete de los dos lados)	1 T	1 T	1 T
Tamaño de la soldadura de filete (cuando el tamaño máximo de la soldadura de filete es mayor que el definido en el plano)			
Materiales hasta 0,090 [2,30]	2 veces el tamaño de la soldadura de filete	2 veces el tamaño de la soldadura de filete	2 veces el tamaño de la soldadura de filete
Materiales desde 0,091 hasta 0,156 [2,30 a 3,96]	1,5 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,5 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,5 veces el tamaño de la soldadura de filete
Materiales desde 0,157 hasta 0,750 [4,00 a 19,05]	1,25 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,25 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,25 veces el tamaño de la soldadura de filete
Materiales de más de 0,751 [19,10]	1,1 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,1 veces el tamaño de la soldadura de filete	1,1 veces el tamaño de la soldadura de filete
Decoloración^b—Titanio			
Plateado brillante	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Plateado	Aceptable ^c	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Pajizo claro	Aceptable ^c	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Pajizo oscuro	Aceptable ^c	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Bronce	Aceptable ^c	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Marrón	Aceptable ^c	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Violeta	Rechazado ^d	Aceptable ^c	Aceptable ^c
Verde	Rechazado ^d	Aceptable ^a	Aceptable ^a
Azul	Rechazado ^d	Rechazado ^c	Rechazado ^e
Gris	Rechazado ^f	Rechazado ^f	Rechazado ^f
Blanco	Rechazado ^f	Rechazado ^f	Rechazado ^f
Decoloración—Acero inoxidable, aleaciones de níquel y cobalto			
Todos los colores de oxidación, excepto el negro	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Negro	Rechazado	Rechazado	Rechazado
Decoloración—Acero			
Todos los colores de oxidación, excepto el negro	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Negro	Rechazado	Rechazado	Rechazado

^a Únicamente para soldaduras de ranura.

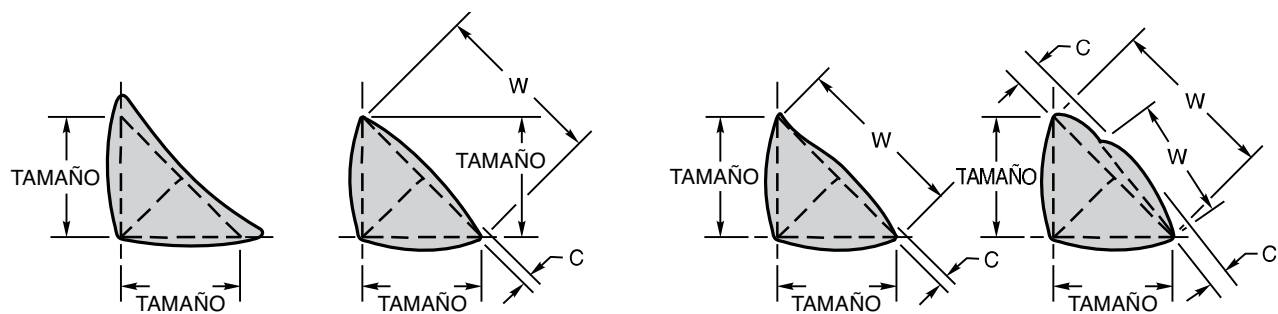
^b La decoloración puede adoptar colores, tonalidades y matices diferentes.

^c La decoloración se debe eliminar antes de una soldadura adicional.

^d En la soldadura y en la zona afectada por el calor hasta 0,030 pulg. [0,76 mm] más allá de la soldadura.

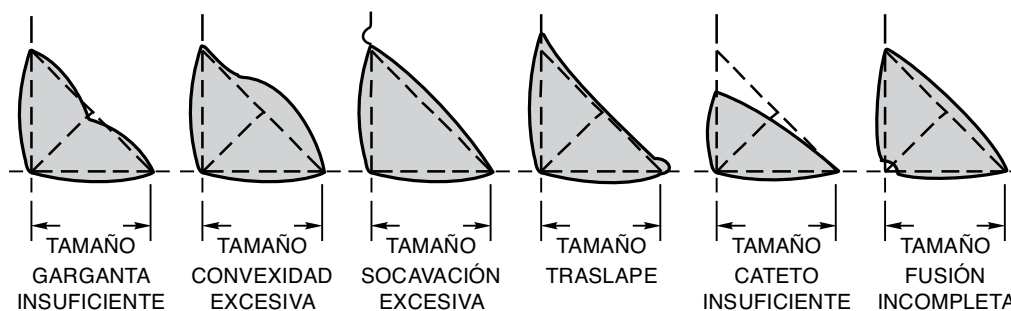
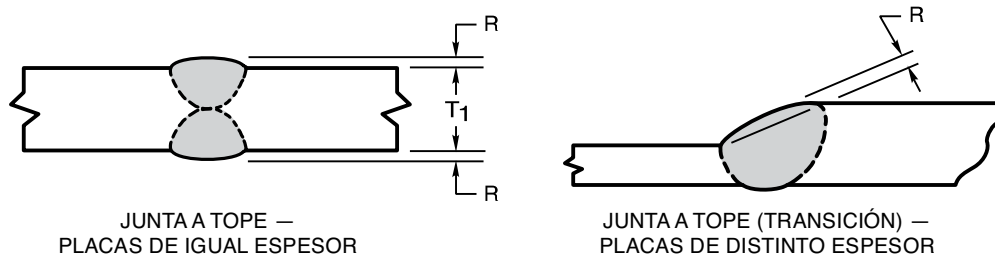
^e La decoloración azul es rechazable si se va a realizar una soldadura adicional. La decoloración azul es aceptable para las soldaduras de acabado, pero debe ser eliminada si será sometida a un proceso posterior.

^f La decoloración es rechazable a menos que pueda demostrarse que el material no ha desarrollado fragilidad. Esta condición debe ser verificada mediante pruebas directas, como la de microdureza.

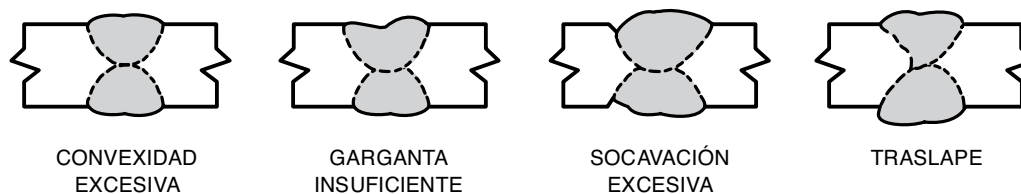
**(A) PERFILES DESEABLES DE SOLDADURA DE FILETE****(B) PERFILES ACEPTABLES DE SOLDADURA DE FILETE**

Nota: la convexidad (dimensión C) de una soldadura o superficie de un cordón individual de dimensión W no superará el valor de la tabla siguiente:

ANCHO DE LA CARA DE LA SOLDADURA O DE LA SUPERFICIE DE UN CORDÓN INDIVIDUAL, W	CONVEXIDAD MÁXIMA, C
$W \leq 5/16$ pulg. [8 mm]	1/16 in [1,6 mm]
$W > 5/16$ pulg. [8 mm] HASTA $W < 1$ pulg. [25 mm]	1/8 in [3 mm]
$W \geq 1$ pulg. [25 mm]	3/16 in [5 mm]

**(C) PERFILES INACEPTABLES DE SOLDADURA DE FILETE**

Nota: el refuerzo R no deberá exceder de 1/8 pulg. [3 mm].

(D) PERFIL ACEPTABLE DE SOLDADURA DE RANURA EN JUNTA A TOPE**(E) PERFILES INACEPTABLES DE SOLDADURA DE RANURA EN JUNTAS A TOPE**

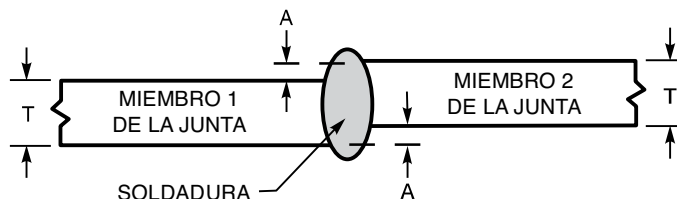
^a Consulte el párrafo 5.3.8.2.

Figura 7.1—Perfiles de soldadura aceptables e inaceptables

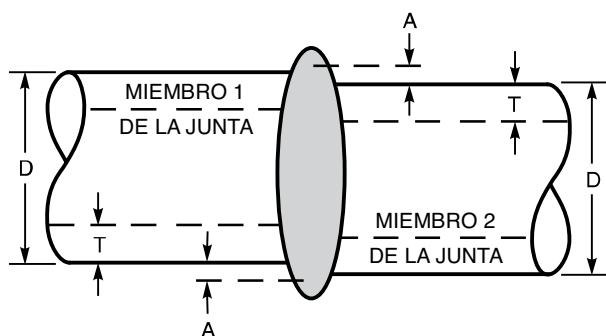
7.5.2.1 Desajuste. A menos que se especifique lo contrario en el plano de ingeniería o en cualquier otro documento contractual, la falta de coincidencia máxima entre los miembros de la junta después de la soldadura deberá cumplir los requisitos de la figura 7.2.

7.5.2.2 Distorsión angular o curvamiento. A menos que se especifique lo contrario en el plano de ingeniería o en cualquier otro documento contractual, el ángulo producido por la distorsión angular o curvamiento presente al finalizar la soldadura deberá estar comprendido dentro de cinco grados del que muestra el dibujo de ingeniería.

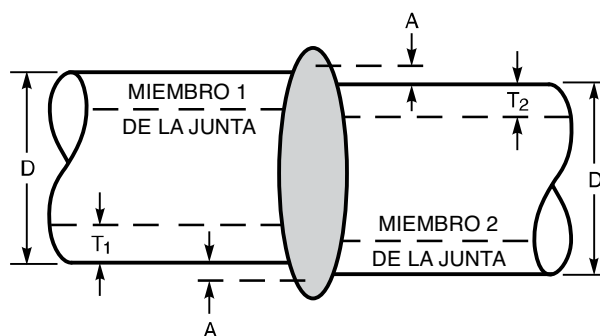
7.6 Registros de inspección. La conservación de los registros de inspección será la definida en el contrato correspondiente.



DESAJUSTE EN SOLDADURA DE LÁMINAS O PLACAS DE IGUAL ESPESOR



DESAJUSTE DE LA SUPERFICIE EXTERIOR DESPUÉS DE LA SOLDADURA DE TUBOS O CONDUCTOS DE IGUAL DIÁMETRO Y ESPESOR



DESAJUSTE DE LA SUPERFICIE EXTERIOR DESPUÉS DE LA SOLDADURA DE TUBOS O CONDUCTOS DE IGUAL DIÁMETRO EXTERIOR Y DISTINTO ESPESOR

Nota: la dimensión 'A' en las figuras anteriores deberá cumplir con lo indicado en esta tabla. Consulte el párrafo 6.1.4.4.

Proceso de soldadura	Espesor del miembro más delgado	Desajuste
	'T'	'A' (máximo)
OFW, SMAW, GTAW, GMAW, PAW, VP-PAW, FCAW, SAW	$T \leq 0,125$ pulg. [3,2 mm]	T o 0,040 pulg. [1,0 mm], el que sea menor
	$T > 0,125$ pulg. [3,2 mm]	0,040 pulg. [1,0 mm]
LÁSER Y HAZ DE ELECTRONES	$T \leq 0,250$ pulg. [6,4 mm]	$0,010$ pulg. + $0,1 \times T$ [0,25 mm + $0,1 \times T$]
	$T > 0,250$ pulg. [6,4 mm]	0,040 pulg. [1,0 mm]

Figura 7.2—Desajuste entre los miembros de la junta después de la soldadura

8. Reparación de estructuras existentes

8.1 Alcance. Esta sección de la especificación establece los requisitos y la aplicabilidad de los procedimientos de soldadura de reparación. Además, esta sección solo se aplica a las soldaduras de reparación de componentes destinados a ser utilizados en vuelo en servicio (existentes) y no será utilizada para las correcciones que surjan durante la fabricación original. Las especificaciones del procedimiento de soldadura utilizado para la reparación de estructuras y componentes existentes deberán cumplir los requisitos aprobados por el gobierno para los fabricantes de equipos originales (OEM) o por los

manuales de reparación adecuados. En función de cuán crítica sea la soldadura de reparación, el análisis de esfuerzos del área a reparar y el procedimiento de reparación deberán ser aprobados por el organismo gubernamental apropiado antes de efectuar la soldadura de reparación.

8.2 Diseño. Las reparaciones de estructuras existentes se deberán realizar de conformidad con las disposiciones reglamentarias vigentes. Para el caso de estructuras críticas y semicríticas, se exigirá la presentación de los procedimientos de soldadura y el análisis de esfuerzos. La documentación de los resultados del análisis de esfuerzos estará a disposición del cliente de acuerdo a lo definido en el contrato, o por 7 años, lo que sea mayor.

8.2.1 Clasificación. El Responsable de Ingeniería deberá clasificar la soldadura de reparación teniendo en cuenta los controles del proceso, la inspección y los criterios de aceptación descritos en la sección 1.2 de esta especificación. Si bien la clasificación seleccionada para la soldadura de reparación puede ser más estricta que la del diseño original, no se deberá clasificar con menores exigencias que las del diseño original a menos que se hayan realizado tanto el análisis de esfuerzos como la calificación de los datos de las pruebas mecánicas o del componente. Si el análisis de esfuerzos avala la reducción de la clasificación de la soldadura, dicho análisis deberá ser aprobado por el Responsable de Ingeniería de acuerdo a lo expresado en el párrafo 8.2.

8.2.2 Estructuras. Las estructuras están definidas por el Responsable de Ingeniería de acuerdo con las prácticas aceptadas y tendrán el mismo significado en este documento.

8.2.2.1 Críticas. Soldaduras realizadas en estructuras críticas a las que se les deberá realizar un análisis de esfuerzos para determinar la aptitud de la reparación en base a la ubicación de la soldadura y al tipo de soldadura. En las estructuras críticas se deberá prestar la debida atención para evitar que la soldadura desarrolle una grieta metalúrgica o mecánica.

8.2.2.2 Semicríticas. Soldaduras realizadas en estructuras semicríticas a las que se les deberá realizar un análisis de esfuerzos antes de soldar la estructura.

8.2.2.3 No críticas. Las soldaduras empleadas para la reparación de estructuras no críticas pueden ser sometidas a un análisis de esfuerzos a criterio del Responsable de Ingeniería. En la ejecución del análisis de esfuerzos se deberá considerar si la soldadura de reparación se encuentra en una zona que podría causar la falla de la estructura no crítica o la pérdida de rendimiento del sistema

8.3 Procedimientos de soldadura

8.3.1 Calificación. Los procedimientos de soldadura se deberán calificar de acuerdo a lo expresado en la sección 5 y las modificaciones incluidas en este documento. La calificación de un procedimiento de soldadura calificado anteriormente se puede extender a la soldadura de reparación siempre que sea autorizado por el Responsable de Ingeniería.

8.3.1.1 Las calificaciones del procedimiento de soldadura para la reparación de estructuras críticas y semicríticas se deberán limitar a aquellas en las que el tipo de metal base, el metal de aporte y el proceso de soldadura sean los mismos que fueron utilizados para la reparación real.

8.3.1.2 La necesidad de que un procedimiento de soldadura para la reparación de estructuras no críticas sea calificado queda a criterio del Responsable de Ingeniería.

8.3.2 Técnicas. Las técnicas de soldadura que contribuyan a alcanzar la resistencia de diseño requerida se deberán incluir como variables esenciales del procedimiento de soldadura empleado en la reparación de estructuras críticas y semicríticas. Esto incluye, sin estar limitado a, la especificación y el cambio de cualesquiera de las variables esenciales y no esenciales indicadas a continuación:

- (1) Parámetros esenciales o aporte de calor
- (2) Ancho del cordón
- (3) Refuerzo
- (4) Secuencia de soldadura
- (5) Posición
- (6) Resistencia del metal de aporte
- (7) Proceso
- (8) Tratamientos térmicos previos o posteriores a la soldadura o envejecimiento
- (9) Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas

Los procedimientos de soldadura que requieran calificación a los efectos de desarrollar una técnica especial deberán contar con una descripción detallada de esa técnica de soldadura y se convertirá en parte de las variables esenciales del procedimiento de soldadura sujeto a recalificación.

8.4 Calificación de soldadores y operarios de soldadura

8.4.1 Los soldadores y operarios de soldadura deberán ser calificados de acuerdo a lo expresado en la sección 5 para la realización de soldaduras mediante el uso del equipo especificado por el procedimiento de soldadura.

8.5 Equipos de soldadura

8.5.1 Equipos. Los equipos para soldadura mecanizada o automática se deberán probar con resultados satisfactorios, de acuerdo a lo expresado en la sección 6, antes de realizar soldaduras de reparación en estructuras y componentes aeroespaciales. Esto incluye el uso de láseres, haz de electrones u otros procedimientos de soldadura de alta energía.

8.6 Inspección de la soldadura de reparación. Los criterios de aceptación de la soldadura de reparación deberán ser definidos en los manuales por el Responsable de Ingeniería. Como mínimo se deberá inspeccionar la soldadura de reparación y el área ubicada dentro de 0,5 pulg. [12,5 mm] alrededor de la reparación.

8.6.1 Examen visual. Se deberá llevar a cabo un examen visual (VT) en todas las soldaduras de reparación, a cargo de personal calificado antes de ejecutar otras técnicas de NDE.

8.6.2 Inspecciones de la superficie. Todas las soldaduras de reparación deberán ser sometidas a una inspección PT o MT final de acuerdo con las especificaciones correspondientes de la especialidad industrial o del cliente (el método seleccionado dependerá de las propiedades magnéticas del material, independientemente de la criticidad).

8.6.3 Inspección interna. Todas las soldaduras de reparación de estructuras críticas y semicríticas, independientemente de la clase de la soldadura, deberán ser sometidas a una RT o UT de acuerdo con las especificaciones correspondientes de la especialidad industrial o del cliente.

8.7 Conexión a tierra. Antes de soldar en una aeronave, se deberá instalar una conexión eléctrica a tierra que deberá contar con la aprobación del Responsable de Ingeniería.

8.8 Documentación de la reparación

8.8.1 Todas las soldaduras de reparación de estructuras críticas y semicríticas se deberán documentar con la siguiente información:

- (1) Ubicaciones o ubicación (número de plano que identifique correctamente a la estructura, el número de estructura, distancia desde puntos identificables dentro de la estructura de la aeronave, etc.)
- (2) Dimensiones de la reparación y extensión de la reparación o reparaciones
- (3) Metal o metales base y de aporte
- (4) Proceso o procesos
- (5) Procedimiento o procedimientos
- (6) Soldador o soldadores
- (7) Método o métodos de inspección y sus resultados

8.8.2 Mantenimiento de registros. Los registros de las soldaduras de reparación se deberán conservar de acuerdo con los requisitos de la agencia reguladora correspondiente.

9. Componentes no destinados a ser utilizados en vuelo

9.1 Alcance. Esta sección establece los requisitos mínimos para el diseño y la soldadura de fusión, con la exclusión de los recipientes a presión y los componentes no destinados a ser utilizados en vuelo. En la aplicación de la presente sección se utilizará una de las tres opciones siguientes, según lo determinado por el Responsable de Ingeniería:

- (1) Los códigos y las especificaciones sugeridas en la Tabla 9.1.
- (2) Los códigos y las especificaciones sugeridas indicadas en la tabla 9.1, con las excepciones y adiciones especificadas en esta sección.
- (3) Los requisitos de las Secciones 4 a 7 de esta especificación, con las excepciones y adiciones especificadas en la Sección 9.

9.2 Excepciones y requisitos adicionales. Las siguientes excepciones y adiciones serán utilizadas con los códigos y las especificaciones correspondientes indicadas en la Tabla 9.1, o con los requisitos de las Secciones 4 a 7 de esta especificación, cuando cualquiera de las opciones haya sido especificada por el Responsable de Ingeniería.

9.2.1 Clasificaciones de las juntas para soldadura. El Responsable de Ingeniería deberá especificar el diseño requerido de la soldadura y la clasificación o clasificaciones de la inspección en el plano de ingeniería. Para soldaduras estructurales, las clasificaciones del diseño se establecerán de conformidad con el código o especificación correspondiente indicadas en la Tabla 9.1, mientras que la clasificación de la inspección serán: Clase A, Clase B o Clase C, de acuerdo con la Sección 9.2.4.4. Para las soldaduras en tubos y tuberías a presión, las clasificaciones de diseño e inspección se deberán determinar de conformidad con el código o especificación correspondiente indicadas en la Tabla 9.1 y en el párrafo 9.2.4.4. Los requisitos complementarios del párrafo 9.2.4.4 se refieren al nivel de inspección requerida; los procedimientos de inspección y los criterios de aceptación deberán conformar el código o las especificaciones correspondientes indicadas en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1
Códigos y especificaciones industriales sugeridos para la soldadura de componentes
aeroespaciales no destinados a ser utilizados en vuelo

Especificación	Título
AWS D1.1/D1.1M	Código de soldadura estructural: acero
AWS D1.2/D1.2M	Código de soldadura estructural: aluminio
AWS D1.3/D1.3M	Structural Welding Code—Sheet Metal (Código de soldadura estructural: láminas de metal)
AWS D1.4/D1.4M	Structural Welding Code—Reinforcing Steel (Código de soldadura estructural: acero de refuerzo)
AWS D1.5M/D1.5	Código de soldadura para puentes
AWS D1.6/D1.6M	Structural Welding Code—Stainless Steel (Código de soldadura estructural: acero inoxidable)
AWS D1.9/D1.9M	Structural Welding Code—Titanium (Código de soldadura estructural: titanio)
AWS D3.6M	Specification for Underwater Welding (Especificación para soldaduras subacuáticas)
AWS D9.1M/D9.1	Sheet Metal Welding Code (Código de soldadura de láminas de metal)
AWS D14.1/D14.1M	Specification for Welding Industrial and Mill Crane and Other Material Handling Equipment (Especificación para la soldadura de grúas industriales, puentes grúa y otros equipos para manejo de materiales)
AWS D14.3/D14.3M	Specification for Welding Earthmoving, Construction, and Agricultural Equipment (Especificación para soldaduras en equipos para movimiento de tierra, construcción y agricultura)
AWS D14.4/D14.4M	Specification for Welded Joints in Machinery and Equipment (Especificación para juntas soldadas en maquinaria y equipos)
AWS D14.5/D14.5M	Specification for Welding of Presses and Press Components (Especificación para la soldadura de prensas y componentes de prensas)
AWS D14.6/D14.6M	Specification for Welding of Rotating Elements of Equipment (Especificación para la soldadura de componentes giratorios de equipos)
AWS D14.7/D14.7M	<u>Recommended Practice for Surfacing and Reconditioning of Industrial Mill Rolls (Práctica recomendada para el revestimiento y reacondicionamiento de rodillos de laminación industrial)</u>
<u>AWS D14.8M (ISO/TR 17844:2004 IDT)</u>	<u>Standard Methods for the Avoidance of Cold Cracks (Métodos estándar para la prevención de grietas en frío)</u>
AWS D15.1/D15.1M	Especificación de soldadura ferroviaria para vagones y locomotoras
ASME B31.1	Code for Pressure Piping (Código para tuberías a presión)
ASME B31.3	Process Piping (Tuberías de proceso)
AWWA STD 100	Standard for Welded Steel-Elevated Tanks, Standpipes, and Reservoirs for Water Storage (Norma para la soldadura de acero en tanques elevados, columnas de alimentación de agua y depósitos de almacenamiento de agua de la American Water Works Association [AWWA], Asociación Estadounidense de Obras Sanitarias)

En los casos en que los códigos y las especificaciones de la Tabla 9.1 no estén relacionados con los materiales específicos que se pretende soldar, se podrá emplear la Tabla 7.1 para determinar los criterios de aceptación de la inspección.

9.2.2 Calificación

9.2.2.1 Requisitos generales. El constructor será responsable de la calificación de los soldadores, operarios de soldadura, soldadores punteadores y los procedimientos de soldadura antes de comprometerse en operaciones de punteado y soldadura. Los soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores puede ser calificados por el constructor o por una compañía de pruebas independiente.

9.2.2.2 Calificación de desempeño. Como alternativa a los requisitos de los códigos y las especificaciones indicadas en la Tabla 9.1, los soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores dedicados a soldaduras estructurales de componentes no destinados a ser utilizados en vuelo podrán ser calificados de acuerdo con la norma AWS B2.1

NOTA: esta alternativa no es extensiva a los soldadores, operarios de soldadura y soldadores punteadores que participen en la soldadura de tubos y tuberías a presión de acuerdo con cualquier sección aplicable de las normas ASME B31.1 o B31.3.

9.2.2.3 Calificación del procedimiento. Como alternativa a los requisitos de los códigos y las especificaciones indicadas en la Tabla 9.1, los procedimientos de soldadura que serán utilizados para la construcción de soldaduras estructurales de las Clases A y B en componentes no destinados a ser utilizados en vuelo podrán ser calificados de acuerdo con la norma AWS B2.1.

NOTA: esta alternativa no es extensiva a los procedimientos de soldadura empleados en la soldadura de tubos y tuberías a presión de acuerdo con cualquier sección aplicable de las normas ASME B31.1 o B31.3.

9.2.3 Construcción

9.2.3.1 Calibración. Los requisitos de calibración de los equipos para soldadura automatizada, mecanizada o robótica deberán conformar el párrafo 6.3.1.

9.2.3.2 Consumibles para soldadura

(1) Identificación. Los requisitos de identificación de los consumibles de soldadura se realizarán de conformidad con el párrafo 6.2.1.

- (2) **Almacenamiento.** Los requisitos de almacenamiento de los consumibles de soldadura se realizarán de conformidad con el párrafo 6.2.2.
- (3) **Insertos consumibles.** Los insertos consumibles deberán responder a la norma AWS A5.30 *Consumable inserts* (Insertos consumibles). La composición nominal de los insertos consumibles deberá ser igual que la del metal de aporte a ser utilizado. Cuando se utilice un inserto consumible no se deberá agregar metal de aporte a una pasada de raíz.
- (4) **Anillos de respaldo en tubos y tuberías para aplicaciones en fluidos.** Con la excepción de las soldaduras designadas por la categoría D, Fluid Service (Servicio de fluidos) de la norma ASME B31.3, no se utilizarán anillos de respaldo.
- (5) **Gas de protección y de respaldo.** Los requisitos del gas de protección y el de respaldo deberán conformar el párrafo 6.2.3 y lo indicado a continuación: El respaldo de gas inerte será requerido para todas las juntas que utilicen insertos consumibles. La raíz de las soldaduras de penetración completa se deberán proteger adecuadamente para evitar la oxidación o la contaminación atmosférica en los siguientes grupos de materiales: aluminio, aleaciones de aluminio, níquel, aleaciones de níquel, aceros inoxidable, titanio y aleaciones de titanio.

El respaldo de gas inerte se deberá mantener durante la pasada de raíz y las pasadas subsiguientes hasta completar la junta, o hasta que se haya depositado un espesor de metal de soldadura de al menos 0,2 pulg. [5 mm].

9.2.3.3 Limpieza previa a la soldadura y entre pasadas. La limpieza previa a la soldadura y entre pasadas se realizará de conformidad con los requisitos del párrafo 6.5.

9.2.3.4 Precalentamiento, calentamiento entre pasadas y calentamiento posterior a la soldadura. El calentamiento y el mantenimiento de la temperatura adecuada especificados en el plano de ingeniería o en la WPS se puede realizar por cualquier método adecuado capaz de proporcionar una temperatura uniforme a lo largo de la junta de la pieza a soldar y hasta una distancia al menos igual al espesor del miembro más grueso (pero no menor de 3 pulgadas [76 mm]) en todas las direcciones desde el punto de soldadura. Para la realización de soldaduras in situ se prefiere el uso de bobinas de inducción o mantas tejidas con resistencias de calefacción. Cuando se requiera precalentamiento, la junta se deberá precalentar antes de iniciar cualquier operación de soldadura, incluso para las soldaduras de punteado. Las temperaturas se medirán mediante indicadores adecuados cuya precisión sea de $\pm 25^{\circ}\text{F}$ [14°C].

9.2.3.5 Metales de aporte. Los requisitos del metal de aporte deberán cumplir con lo indicado en el párrafo 6.12.

9.2.3.6 Soldaduras de punteado. Las soldaduras de punteado se deberán utilizar en los casos en que sean necesarias y su ejecución estará a cargo de un soldador, operario de soldadura, soldador de punteado calificados. Las soldaduras de punteado deberán estar espaciadas simétricamente alrededor o a lo largo de la junta siempre que sea posible. El descascarillado o el esmerilado se deberán difundir uniformemente con el metal base. Las soldaduras de punteado que contengan grietas o porosidad visibles no se deberán fusionar con la pasada de raíz y se deberán eliminar de acuerdo con el párrafo 9.7.

9.2.3.7 Inicio y terminación del cordón de soldadura. Las lengüetas de inicio y terminación de la soldadura en las que se puede iniciar o finalizar el arco de soldadura se deberán utilizar siempre que sea factible y su composición deberá ser del mismo material que las piezas a soldar. Cuando no se puedan utilizar lengüetas de inicio y terminación de la soldadura, los puntos de inicio y terminación de cada cordón de soldadura deberán ser golpeados con la piqueta o esmerilados según sea necesario para eliminar los defectos visibles en el metal de soldadura antes de volver a depositar otro cordón de soldadura. Además, el área de esmerilado se deberá difundir uniformemente con el metal base adyacente. Los cordones de soldadura no deberán terminar en esquinas interiores o entallas, ni en cualquier otra área crítica como, por ejemplo, en los cambios de dirección de la soldadura o cambios bruscos en el espesor de la sección.

9.2.3.8 Ranurado del lado opuesto. Todas las juntas de ranura soldadas que hayan de ser soldadas por ambos lados y requieran el 100 % de penetración se deberán ranurar por el lado opuesto hasta alcanzar el metal original limpio antes de soldar dicho lado opuesto. Siempre que sea posible, se depositarán dos o tres pasadas en el primer lado antes del ranurado del lado posterior. El ranurado del lado posterior deberá alcanzar el metal original limpio y podrá ser realizado mediante mecanizado, cincelado, esmerilado, ranurado por arco u otros métodos apropiados. La soldadura en las áreas ranuradas se difundirá uniformemente con el metal adyacente.

9.2.3.9 Limpieza posterior a la soldadura. Los requisitos para la limpieza posterior a la soldadura deberán cumplir lo indicado en el párrafo 6.15.

9.2.3.10 Identificación de las soldaduras. Se deberán conservar registros apropiados para identificar las soldaduras realizadas por cada soldador y operario de soldadura calificados. Estos registros estarán a disposición del Responsable de Ingeniería siempre que sean requeridos por la documentación del contrato.

9.2.4 Inspección

9.2.4.1 Generalidades. El constructor es responsable del cumplimiento de todos los requisitos de las inspecciones, pruebas y controles de calidad especificados en este documento. El constructor puede utilizar su propio laboratorio de pruebas o cualquier otro aceptado y aprobado por el Responsable de Ingeniería para el desempeño de todas las inspecciones destructivas y no destructivas requeridas. Las inspecciones visuales y no destructivas descritas en el presente documento se deberán aplicar a soldaduras terminadas y al metal base adyacente hasta una distancia mínima de 0,5 pulg. [13 mm] a ambos lados del borde del metal de soldadura depositado. Las soldaduras que no satisfagan los

criterios de aceptación del código o de las especificaciones correspondientes indicadas en la Tabla 9.1 serán reelaboradas de acuerdo con el párrafo 9.7.

9.2.4.2 Calificación del personal de NDE. Los requisitos del personal de NDE deberán ser los indicados en el párrafo 7.1.

9.2.4.3 Inspección visual. Todas las soldaduras se deberán inspeccionar visualmente para verificar el cumplimiento de los requisitos del plano y los requisitos de cualquiera de los códigos o especificaciones correspondientes indicados en la Tabla 9.1, o los requisitos de la Tabla 7.1.

9.2.4.4 NDE de componentes no destinados a ser utilizados en vuelo

- (1) **Inspección Clase A (únicamente para soldaduras estructurales).** Además de la inspección visual, todas las inspecciones Clase A requerirán pruebas radiográficas (RT) sobre el 100 % de las soldaduras y pruebas de partículas magnéticas (MT) o con líquido penetrante (PT) también sobre el 100 % de las soldaduras, de conformidad con los códigos o especificaciones apropiadas indicadas en la Tabla 9.1. Se podrá utilizar ensayos por ultrasonidos (UT), en reemplazo de las pruebas RT, a criterio del Responsable de Ingeniería.
- (2) **Inspección Clase B (únicamente para soldaduras estructurales).** Además de la inspección visual, todas las inspecciones Clase B requerirán pruebas de partículas magnéticas (MT) o con líquido penetrante (PT) sobre el 100 % de las soldaduras, de conformidad con los códigos o especificaciones apropiadas indicadas en la Tabla 9.1. Cuando se realicen soldaduras constituidas por pasadas múltiples en secciones gruesas se recomienda inspeccionar la pasada de raíz, la pasada final y cada incremento de espesor de 0,5 pulg. [13 mm]. En las soldaduras de pasadas múltiples, además de los requisitos de limpieza normales entre pasadas se eliminarán todos los restos de líquido penetrante y/o partículas de metal después de cada una de estas inspecciones. La prueba RT se puede utilizar a criterio del Responsable de Ingeniería.
- (3) **Inspección Clase B (únicamente para soldaduras estructurales).** Todas las inspecciones clase C requieren únicamente la inspección visual descrita en el párrafo 9.6.3. Las pruebas MT y/o PT se pueden utilizar a criterio del Responsable de Ingeniería.
- (4) **Soldaduras en tuberías y tubos para servicio de fluidos.** Si esta especificación se emplea junto con la norma ASME B31.3 únicamente, todas las soldaduras de las tuberías y los tubos se someterán a NDE de conformidad con los párrafos siguientes, además de las inspecciones visuales requeridas:
 - (a) **Servicio de fluido normal.** Todas las soldaduras clasificadas para servicio de fluidos normales requerirán la ejecución de pruebas RT sobre el 10 % de las soldaduras escogidas al azar; si alguna de las soldaduras probadas resulta inaceptable, se deberá probar otro 10 % (mínimo) de las soldaduras de producción, también elegidas al azar. Si alguna de las soldaduras probadas en el segundo muestreo resulta inaceptable, se requerirá la inspección del 100 % de las soldaduras de producción restantes.
 - (b) **Condiciones cíclicas severas.** Todas las soldaduras clasificadas como sometidas a condiciones cíclicas severas requerirán pruebas RT sobre el 100 % de la producción y pruebas PT o MT también sobre el 100 % de la producción.
 - (c) **Servicio de fluido categoría M.** Todas las soldaduras clasificadas para el servicio de fluidos categoría M requerirán pruebas RT sobre el 100 % de la producción y pruebas PT o MT también sobre el 100 % de la producción.
 - (d) **Servicio de fluido de alta presión.** Todas las soldaduras clasificadas para el servicio de fluidos de alta presión requerirán pruebas RT sobre el 100 % de la producción y pruebas PT o MT también sobre el 100 % de la producción.
 - (e) **Servicio de fluido categoría D.** Todas las soldaduras clasificadas para el servicio de fluidos categoría D requerirán pruebas PT o MT sobre el 100 % de la producción.
- (5) **Ensayos durante el proceso automático de soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegida con gas (GTAW).** El examen durante el proceso puede ser sustituido por la prueba RT requerida para tubos y tuberías solo cuando se realiza mediante un proceso GTAW completamente automático, excepto en las soldaduras designadas para el servicio de fluidos de alta presión y de categoría M (de acuerdo a la norma ASME B31.3). Además de los requisitos del examen durante el procesos definidos en la norma ASME B31.3, se deberá cumplir los siguientes requisitos:
 - (a) El examen durante el proceso se aplicará a todas las soldaduras.
 - (b) Los parámetros del proceso GTAW automático deberán ser estrictamente controlados y registrados; si estos parámetros exceden más o menos el 10 % de los valores calificados establecidos durante la calificación del procedimiento de soldadura, se deberá realizar una prueba RT a la soldadura afectada. Los parámetros de proceso que deberán ser controlados y registrados son los siguientes:
 - (a) Corriente de arco
 - (b) Valor pico del pulso (Amperios)

- (c) Valor de valle del pulso (Amperios)
- (d) Tiempo de pico del pulso (tiempo)
- (e) Tiempo de valle del pulso (tiempo)
- (f) Pendiente inicial
- (g) Pendiente final
- (h) Retardo de la rotación
- (i) Velocidad del cabezal (rpm)
- (j) Caudal de gas de protección y de gas de respaldo
- (k) Voltaje del arco
- (l) Electrodo de tungsteno (posición, longitud, bisel, caras de contacto, longitud del arco)

(c) Las soldaduras clasificadas como sometidas a condiciones cíclicas severas requerirán pruebas PT o MT también sobre el 100 % de la producción.

NOTA: todos los materiales empleados en los NDE (por ejemplo, líquidos penetrantes, reveladores, acoplamientos ultrasónicos, etc.) que serán aplicados a superficies expuestas al oxígeno (gaseoso o líquido) o combustibles hipergólicos durante el servicio deberán ser compatibles con el fluido de servicio. La compatibilidad con el oxígeno será determinada de conformidad con los procedimientos aprobados por el Responsable de Ingeniería.

9.2.4.5 Métodos de inspección alternativos. En los casos en que no sea práctico obtener una radiografía satisfactoria (por ejemplo, de una soldadura de filete) debido a la configuración de la junta, el Responsable de Ingeniería deberá aprobar un método de NDE alternativo satisfactorio. Si se propone la utilización de una prueba PT o MT en reemplazo de una RT, se deberán inspeccionar la pasada de raíz, la pasada final y cada incremento de espesor de 0,5 pulg. [13 mm]. En las soldaduras de pasadas múltiples, además de los requisitos de limpieza normales entre pasadas se eliminarán todos los restos de líquido penetrante y/o partículas de metal después de cada una de estas inspecciones. En los casos en que sea difícil lograr una limpieza adecuada posterior a la inspección de la soldadura (por ejemplo, tuberías interiores en sistemas encamisados sometidos a vacío, pasadas intermedias en soldaduras de aluminio de pasadas múltiples, etc.), la prueba PT podrá ser específicamente omitida si el Responsable de Ingeniería lo aprueba (se podrá considerar como suficiente la ejecución de, por ejemplo, una inspección visual, una prueba RT y un ensayo de la prueba de una tubería interior de un sistema criogénico encamisado sometido a vacío, sin la realización de la prueba PT). También podría considerarse como suficiente la realización de la prueba PT únicamente en la pasada final de una soldadura de aluminio de pasadas múltiples. La necesidad de omitir selectivamente la prueba PT, así como la necesidad y la aceptabilidad de los métodos NDE alternativos propuestos, deberán acordarse entre el constructor y el Responsable de Ingeniería.

9.2.4.6 Ensayo de la prueba. El ensayo de la prueba se puede utilizar con o en reemplazo de los ensayos NDE cuando así la haya aprobado el Responsable de Ingeniería.

9.2.4.7 Decapado para la prueba PT. Los conjuntos soldados construidos con metales blandos (por ejemplo, aleaciones de aluminio, aleaciones de magnesio, etc.) en los que las operaciones de mecanizado, esmerilado, arenado, abrasión o de otros medios mecánicos, produzcan manchas o alteraciones en la superficie del metal, serán sometidos a la aplicación de un decapante para eliminar el material alterado antes de aplicar el líquido penetrante. La aplicación de decapante no será requerida en piezas cuyas superficies tienen tolerancias muy finas o son áreas de contacto, etc., donde la función del componente o conjunto podría resultar degradada.

9.2.4.8 Tipos de inspección penetrante (PT) admitidos. Las soldaduras pueden ser inspeccionadas mediante la utilización de cualquier sistema penetrante tipo I ó II aprobado.

9.2.5 Reelaboración de las soldaduras

9.2.5.1 Eliminación de discontinuidades. Las porciones de metal de soldadura y/o metal base que contienen discontinuidades rechazables serán eliminadas hasta alcanzar el metal base original. Se prefiere la utilización de medios mecánicos (por ejemplo, esmerilado, descascarillado con piqueta o mecanizado). Después de eliminar las discontinuidades, y antes de volver a soldar, la junta se deberá inspeccionar nuevamente para verificar que las discontinuidades han sido completamente eliminadas, mediante el uso del mismo método de inspección y criterios de aceptación utilizados para detectar la discontinuidad original.

9.2.5.2 Procedimiento de reelaboración. Para la reelaboración de la soldadura se deberá utilizar la misma WPS calificada del procedimiento originalmente empleado o un proceso de reparación calificado aprobado para lo cual se deberá considerar que el contorno y las dimensiones de la cavidad a ser reparada pueden diferir a los de la junta original. No se deberá realizar más de dos intentos para reelaborar una discontinuidad en una soldadura excepto en las soldaduras estructurales de la Clase C y las soldaduras para el servicio de fluidos categoría D (según ASME B31.3); los nuevos intentos de reelaboración requerirán la aprobación del Responsable de Ingeniería. La soldadura reelaborada se deberá inspeccionar con los mismos requisitos y criterios de aceptación de la soldadura original.

9.2.5.3 Registros de la reelaboración. El constructor deberá preparar y conservar registros de todas las soldaduras reelaboradas de las Clases A y B; estos registros estarán siempre disponibles para el Responsable de Ingeniería.

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Apéndice A (Normativo)

Directrices para el diseño, análisis y fabricación de juntas para soldadura

Este apéndice forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, e incluye elementos de uso obligatorio con esta norma.

A1. Alcance

Los datos y las cifras indicados a continuación se suministran como información de diseño estándar. Estos diseños y dimensiones de las juntas se basan en su uso generalizado en la industria aeroespacial con resultados satisfactorios. Sin embargo, en caso de que estos diseños sean utilizados, el Responsable de Ingeniería tiene la obligación de realizar los análisis de ingeniería necesarios para la aplicación.

Constructores—El Responsable de Ingeniería puede requerir a los constructores el cumplimiento de los requisitos de este apéndice para el ajuste de las juntas.

A2. Soldaduras de ranura

El diseñador puede utilizar los detalles de la junta estándar ofrecidos en la Figura A.1 para soldaduras de ranura con penetración completa de la junta y la Figura A.2 para soldaduras de ranura con penetración completa en juntas de dos y tres piezas en T.

A2.1 Área efectiva de la soldadura de ranura. El área efectiva es la longitud efectiva de la soldadura multiplicada por el tamaño de la soldadura. La longitud efectiva de la soldadura para cualquier soldadura de ranura, perpendicular o no (en escuadra u oblicua), debe ser igual al ancho de la pieza unida perpendicular a la dirección del esfuerzo. El tamaño de la soldadura de una soldadura de ranura con penetración completa de la junta debe ser igual al espesor de la pieza unida más delgada. Los refuerzos de la soldadura no aumentan el área efectiva de la soldadura.

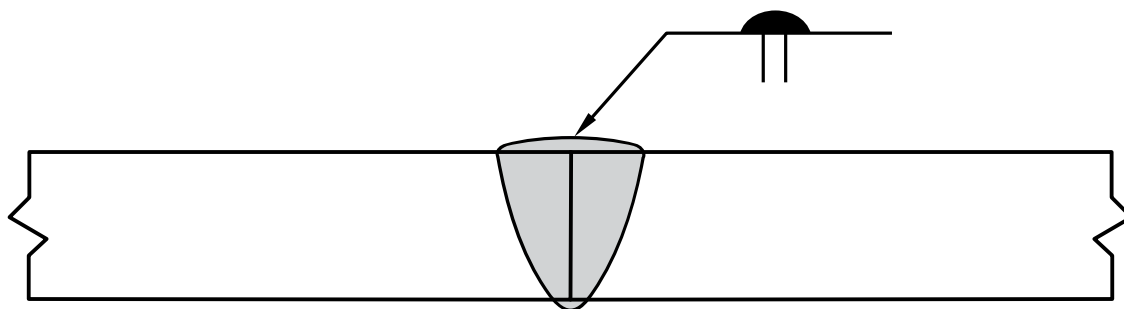
A3. Soldaduras del borde en juntas pestañadas

A3.1 El diseñador puede utilizar los detalles de la junta estándar ofrecidos en la Figura A.3.

A4. Soldaduras de filete

A4.1 Tamaño de la soldadura de filete. La eficacia de la junta de soldadura se basa en la resistencia del miembro más débil de la unión. Se basa en el espesor del miembro multiplicado por la resistencia a la tracción del metal base. Para alcanzar el 100 % de eficacia de la junta, mediante el uso de un metal de aporte de resistencia equivalente, el tamaño de la soldadura debe ser de al menos el 70 % del espesor del metal base para una soldadura de ambos lados, y del 140 % para una soldadura de un solo lado. El tamaño mínimo de soldadura sugerido para una soldadura de un solo filete es 1,5 veces el espesor del elemento más delgado de la unión. El tamaño mínimo de soldadura sugerido para una soldadura de filete doble es igual (1 vez) al espesor del elemento más delgado de la unión. Sin embargo, cuando se presentan condiciones de carga dinámicas, el Responsable de Ingeniería deberá asegurarse de que el tamaño de la soldadura de filete requerida es el adecuado para la aplicación del diseño.

Para juntas solapadas y en esquina, donde la soldadura de filete necesita de un tamaño máximo con un filete convexo, el tamaño del miembro más delgado de la junta deberá estar especificado en el plano ($E = S$). Vea la Figura A.4



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Material	Comentarios
GTAW	0,090 [2,3] máx.	1/2 T o 0,045 [1,1], el que sea menor	Cualquiera	GTAW manual
	0,125 [3,2] máx.	1/4 T o 0,030 [0,76], el que sea menor	Cualquiera	GTAW mecanizado
	0,25 [6,4] máx.		Al o Ti	GTAW mecanizado
PAW	0,375 [9,5] máx.	1/4 T o 0,030 [0,76], el que sea menor	Al o Ti	PAW mecanizado
		0,040 [1,0] máx.	Al o Ti	VP-PAW mecanizado
EBW	$\leq 0,030$ [0,76] 0,031–0,100 [0,79–2,54] 0,101–0,200 [2,56–5,08] 0,201–0,300 [5,10–7,62] 0,301–0,400 [7,64–10,16] $> 0,400$ [10,16]	0,002 [0,05] 0,005 [0,13] 0,007 [0,18] 0,008 [0,20] 0,009 [0,23] 0,010 [0,25]	Cualquiera	
LBW		1/8 T o 0,005 [0,13], el que sea menor	Cualquiera	

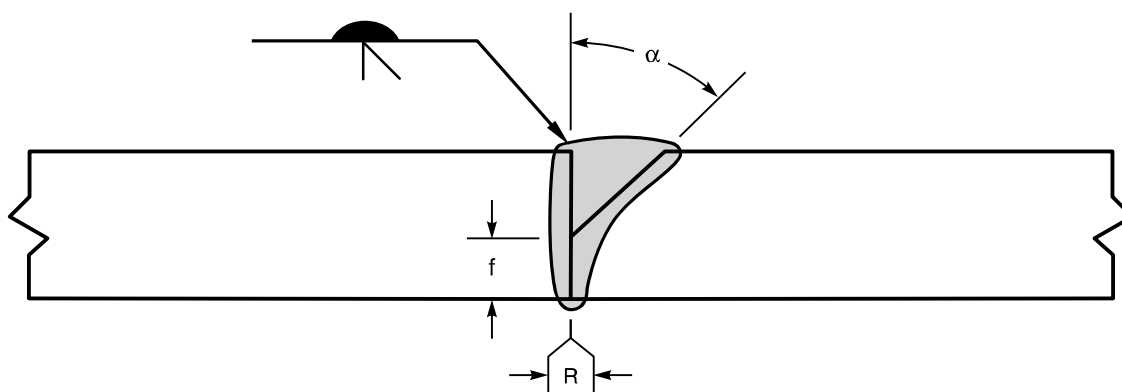
Figura A.1(a) — Juntas a tope con ranura en escuadra

La relación entre la garganta efectiva y el tamaño de la soldadura se muestra en la Figura A.4. Los factores de corrección para soldaduras de filete en T oblicuas se ofrecen en la Tabla A.1 para los ángulos diedros (Ψ) entre 60 y 135 grados.

A4.2 Gargantas efectivas de soldaduras de filete

A4.2.1 Cálculos. La garganta efectiva de una soldadura de filete se define como la menor distancia desde la raíz de la junta hasta la cara de la soldadura. A los efectos del diseño, la garganta efectiva y la garganta teórica son idénticas cuando la holgura de la raíz es cero y no existe penetración en la junta. Los cálculos de diseño para la penetración de la raíz no deben tener en cuenta la resistencia a menos que se haya especificado una combinación de soldadura de ranura y filete para la junta.

A4.2.2 Esfuerzo de cizallamiento. La tensión en la garganta efectiva de una soldadura de filete será considerada como esfuerzo de cizallamiento independientemente de la dirección de la carga.



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm])	Ángulo de la ranura [α] (grados)
GTAW	0,060–0,500 [1,5–12,7]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	60° +10° –5°
PAW ^a	0,060–0,500 [1,5–12,7]	≤ 0,030 [0,76]	0,03 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	60° +10° –5°
GMAW FCAW SAW	0,060 [1,5] – ilimitado	≤ 0,030 [0,76]	0,06 [1,5] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	45° +10° ^b 60° –5° ^c

^a En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

^b Aplicable a aleaciones ferrosas, aleaciones resistentes al calor y aleaciones de magnesio.

^c Aplicable a aleaciones de aluminio y aleaciones de titanio.

Figura A.1(b)—Juntas para soldadura de ranura con bisel simple

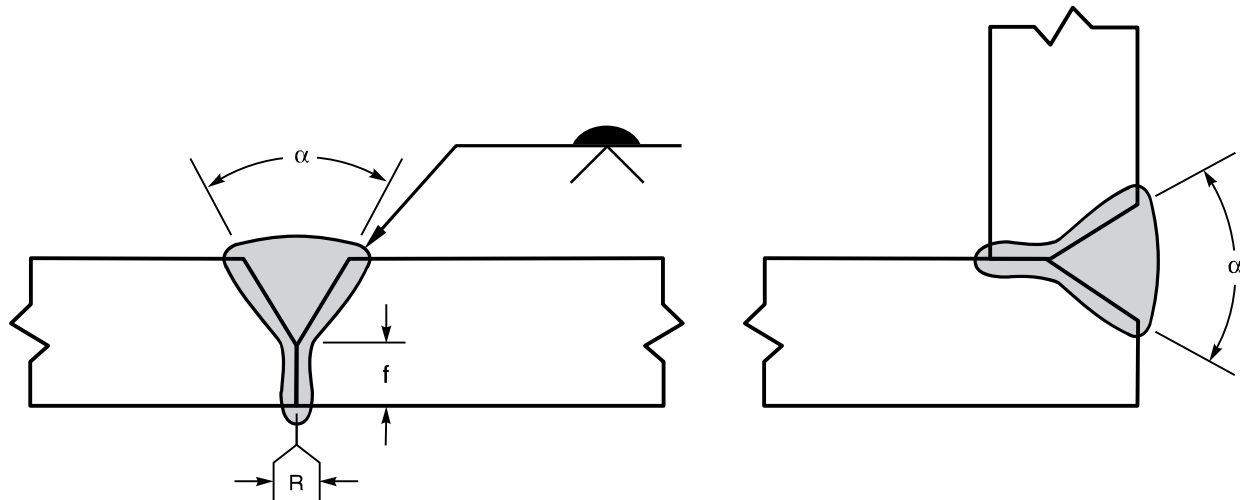
A4.3 Longitud de la soldadura de filete

A4.3.1 Longitud efectiva (soldadura recta). La longitud efectiva de una soldadura de filete debe ser medida como la longitud total del filete de tamaño completo incluido el remate. Los cálculos de diseño no deben contemplar reducciones en la longitud efectiva, ni en el inicio ni en el final de la soldadura.

A4.3.2 Longitud efectiva (soldadura curva). La longitud efectiva de una soldadura de filete curva debe ser medida a lo largo de la línea central de la garganta efectiva. Si el área de soldadura de una soldadura de filete en un orificio o en una ranura, calculada a partir de esta longitud es mayor que el área del orificio en el plano de la superficie de contacto, entonces el área del orificio deberá ser utilizada como el área efectiva de la soldadura de filete.

A4.3.3 Longitud mínima de la soldadura de filete. La longitud mínima efectiva de una soldadura de filete debe ser al menos cuatro veces el tamaño nominal.

A4.4 Área efectiva de la soldadura de filete. El área efectiva debe ser la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva.



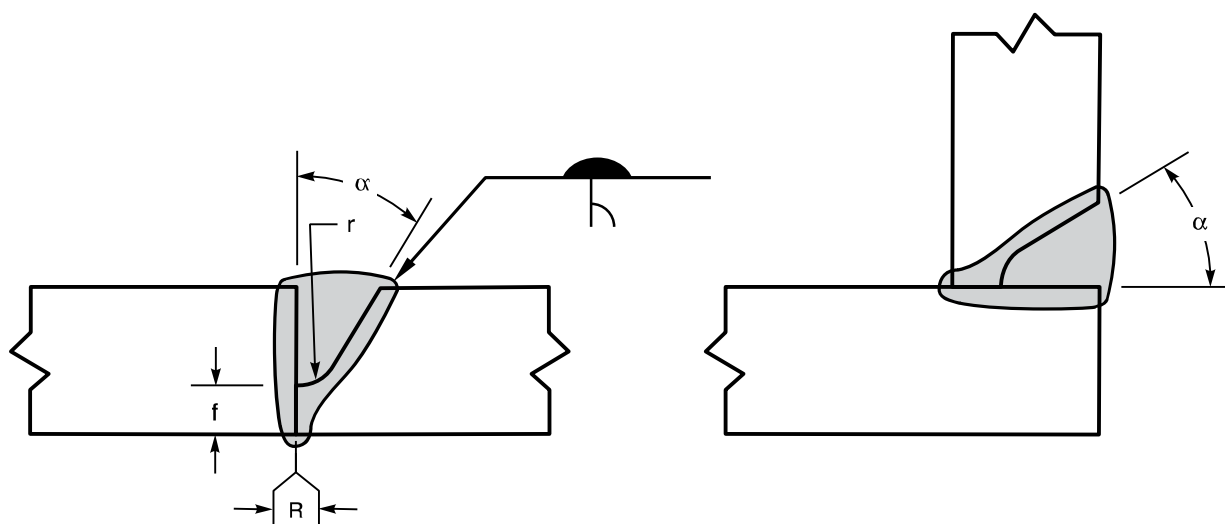
Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm])	Ángulo de la ranura [α]
GTAW	0,060–0,500 [1,5–12,7]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	60° +10° –5°
PAW ^a	0,060–0,500 [1,5–12,7]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	60° +10° –5°
GMAW FCAW SAW	0,060 [1,5] – ilimitado	≤0,030 [0,76]	0,060 [1,5] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	45° +10° –5° ^b 60° +10° –5° ^c

^a En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

^b Aplicable a aleaciones ferrosas, aleaciones resistentes al calor y aleaciones de magnesio.

^c Aplicable a aleaciones de aluminio y aleaciones de titanio.

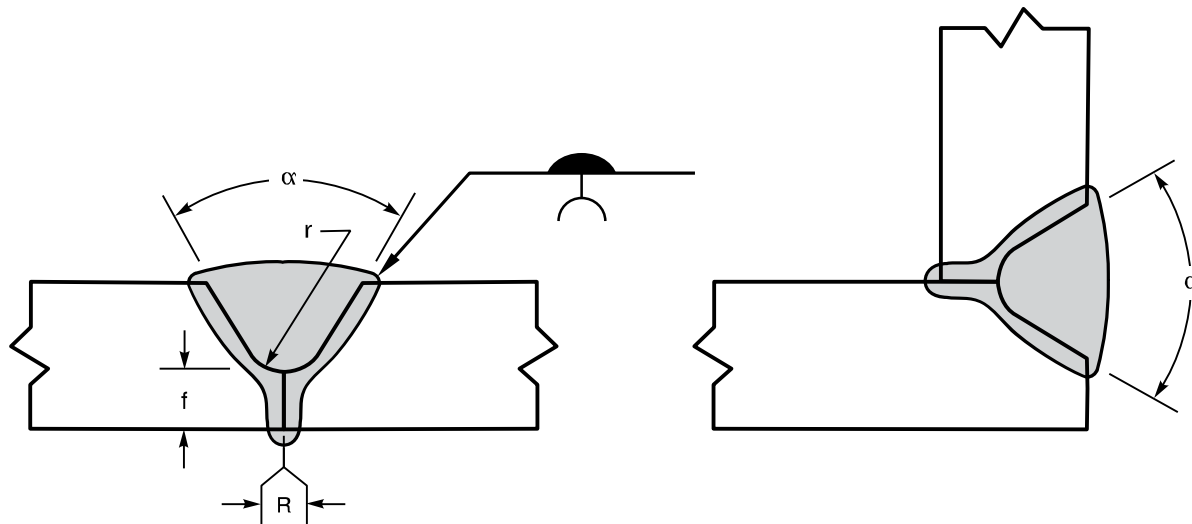
Figura A.1(c)—Juntas para soldadura de ranura en V simple



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máx. de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm])	Ángulo de la ranura [α] (grados)	Radio de la ranura (r) (pulg. [mm])
GTAW	0,501–0,700 [12,7–17,8]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	30° +10° –5°	0,38 [9,65] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]
	>0,700 [17,8]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,000 [0,00]	30° +10° –5°	0,44 [11,18] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]
PAW ^a	0,501–0,700 [12,7–17,8]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,025]	30° +10° –5°	0,38 [9,65] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]
	>0,700 [17,8]	≤0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,025]	30° +10° –5°	0,44 [11,18] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]
GMAW FCAW SAW	0,501–0,700 [12,7–17,8]	≤0,030 [0,76]	0,060 [1,5] +0,030 [0,76] –0,030 [0,76]	30° +10° –5°	0,38 [9,65] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]
	>0,700 [17,8]	≤0,030 [0,76]	0,060 [1,5] +0,030 [0,76] –0,030 [0,76]	30° +10° –5°	0,44 [11,18] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]

^a En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

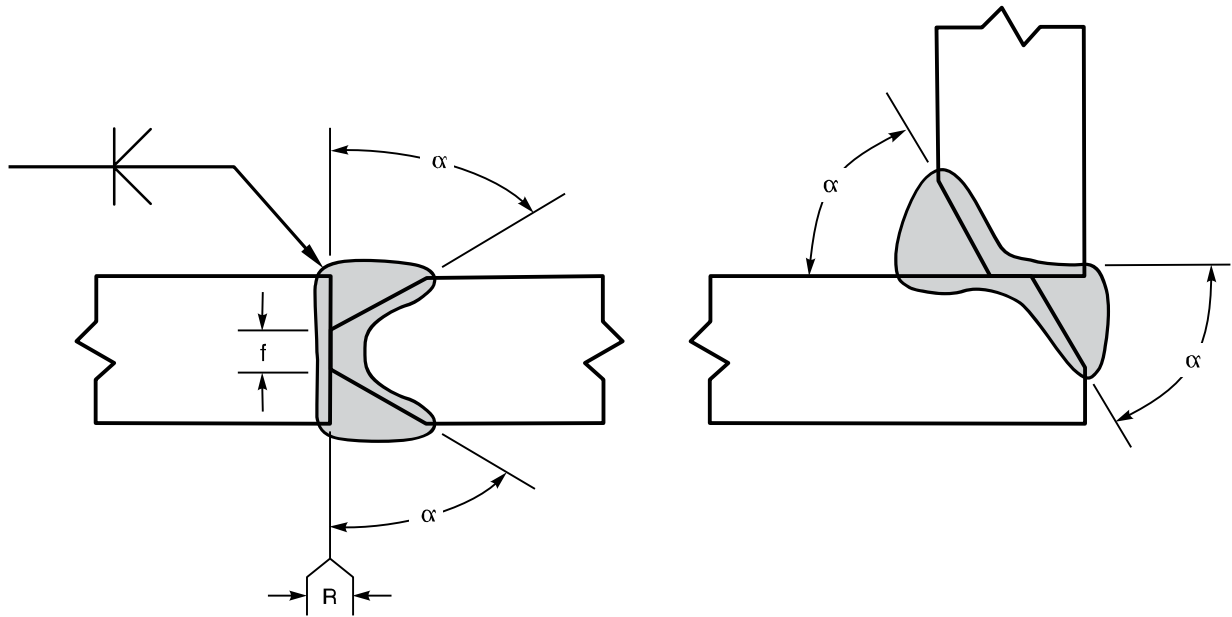
Figura A.1(d)—Juntas para soldadura de ranura en J simple



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm])	Ángulo de la ranura [α] (grados)	Radio de la ranura (r) (pulg. [mm])
GTAW	> 0,400 [10,16]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] -0,000 [0,00]	20° +10° -5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] - 0,010 [0,25]
PAW ^a	> 0,400 [10,16]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] -0,000 [0,00]	20° +10° -5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] - 0,010 [0,25]
GMAW FCAW SAW	> 0,400 [10,16]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] + 0,030 [0,76] - 0,010 [0,25]	20° +10° -5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] - 0,010 [0,25]

^a En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

Figura A.1(e)—Juntas para soldadura de ranura en U simple



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm]) ^a	Ángulo de la ranura [α] (grados)
GTAW ^b	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	60° + 10° –5°
PAW ^{c,b}	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	60° + 10° –5°
GMAW ^b FCAW SAW	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	45° + 10° –5° ^d 60° + 10° –5° ^e

^a Se aplica únicamente a soldaduras de ranura con penetración completa de la junta. La altura de la cara de la raíz de las soldaduras de ranura con penetración parcial de la junta se rige por los requisitos de resistencia de la junta.

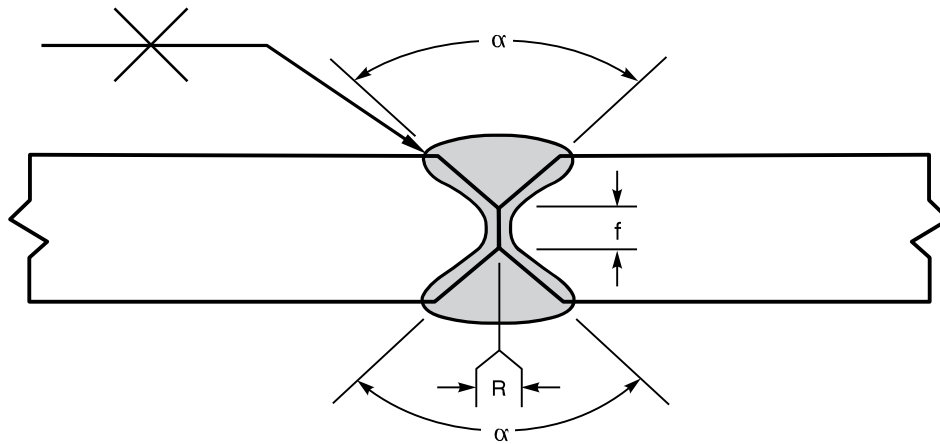
^b Se requiere ranurado del lado opuesto hasta alcanzar el metal base original antes de soldar del otro lado.

^c En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

^d Aplicable a aleaciones ferrosas, aleaciones resistentes al calor y aleaciones de magnesio.

^e Aplicable a aleaciones de aluminio y aleaciones de titanio.

Figura A.1(f)—Juntas para soldadura de ranura con bisel doble



Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm]) ^a	Ángulo de la ranura [α]
GTAW (5)	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	60° +10° –5°
PAW ^{b,c}	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,030 [0,76] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	60° +10° –5°
GMAW ^c FCAW SAW	0,250–1,000 [6,4–25,4]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] +0,030 [0,76] –0,010 [0,25]	45° +10° –5° ^d
				60° +10° –5° ^e

^a Se aplica únicamente a soldaduras de ranura con penetración completa de la junta. La altura de la cara de la raíz de las soldaduras de ranura con penetración parcial de la junta se rige por los requisitos de resistencia de la junta.

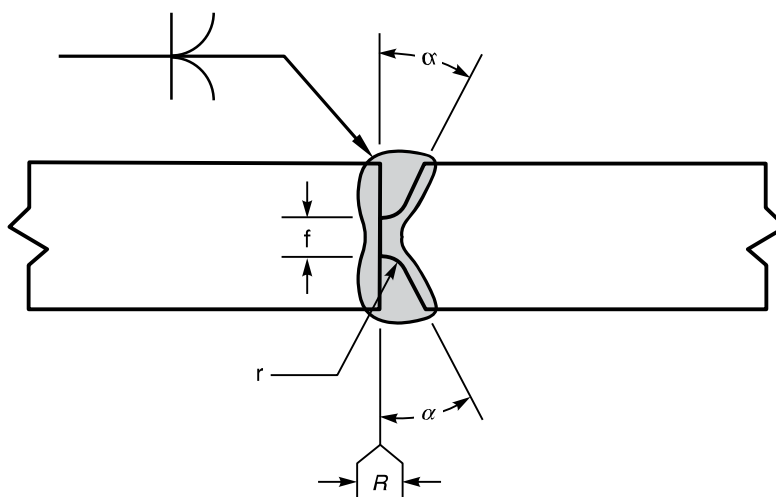
^b En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

^c Se requiere ranurado del lado opuesto hasta alcanzar el metal base original antes de soldar del otro lado.

^d Aplicable a aleaciones ferrosas, aleaciones resistentes al calor y aleaciones de magnesio.

^e Aplicable a aleaciones de aluminio y aleaciones de titanio.

Figura A.1(g) — Juntas para soldadura de ranura en V doble



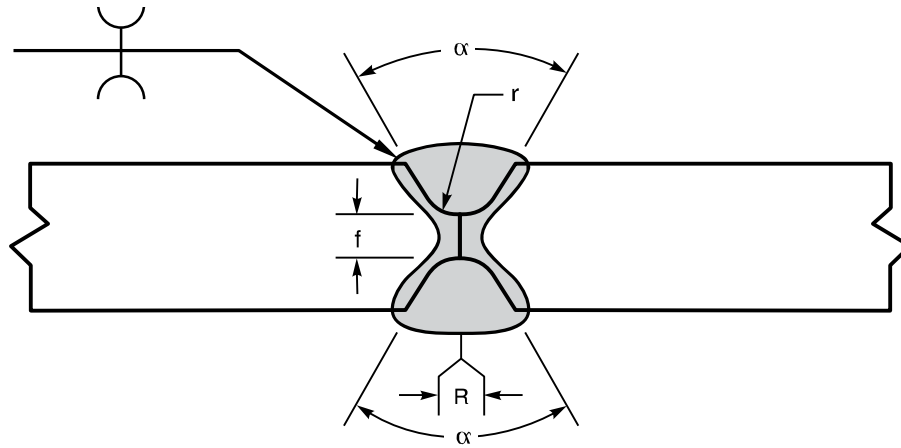
Proceso de soldadura	Esesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm]) ^a	Ángulo de la ranura [α]	Radio de la ranura (r) (pulg. [mm])
GTAW ^b	0,501–1,400 [12,7–35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,040 [1,01] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° +10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	≥ 1,400 [35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° +10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
PAW ^{c,b}	0,501–1,400 [12,7–35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,040 [1,01] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° +10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	≥ 1,400 [35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° +10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
GMAW ^b FCAW SAW	0,501–1,400 [13,01–35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,080 [2,03] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° +10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	≥ 1,400 [35,56]	≤ 0,030 [0,76]	0,120 [3,05] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	30° + 10° – 5°	0,380 [9,65] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]

^a Se aplica únicamente a soldaduras de ranura con penetración completa de la junta. La altura de la cara de la raíz de las soldaduras de ranura con penetración parcial de la junta se rige por los requisitos de resistencia de la junta.

^b Se requiere ranurado del lado opuesto hasta alcanzar el metal base original antes de soldar del otro lado.

^c En cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

Figura A.1(h)—Juntas para soldadura de ranura en J doble



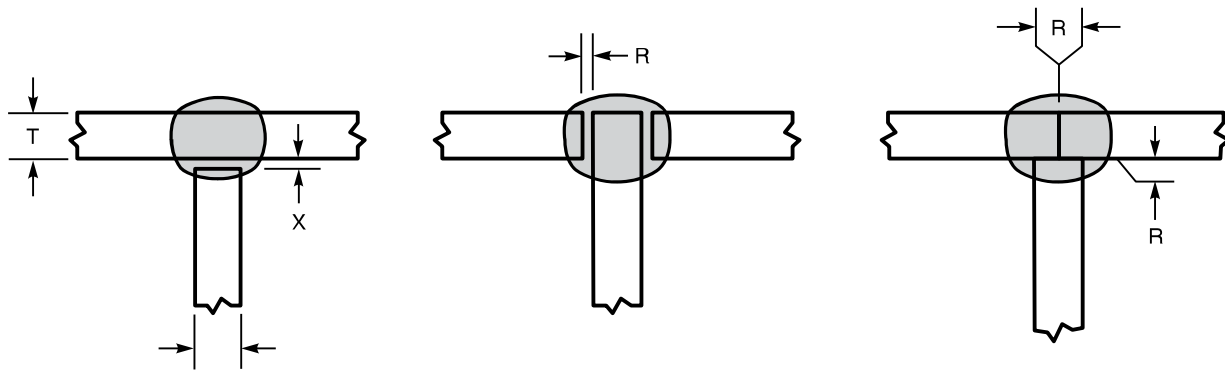
Proceso de soldadura	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Abertura máxima de la raíz [R] (pulg. [mm])	Cara de la raíz [f] (pulg. [mm]) ^a	Ángulo de la ranura [α]	Radio de la ranura (r) (pulg. [mm])
GTAW ^b	0,501–0,800 [12,7–20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,040 [1,0] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	> 0,800 [20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
PAW ^{b,c}	0,501–0,800 [12,7–20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,040 [1,0] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	≤ 0,800 [20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,060 [1,5] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
GMAW ^c FCAW SAW	0,501–0,800 [12,7–20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,080 [2,0] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]
	> 0,800 [20,3]	≤ 0,030 [0,76]	0,120 [3,0] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]	20° + 10° – 5°	0,250 [6,4] + 0,030 [0,76] – 0,010 [0,25]

^a Se aplica únicamente a soldaduras de ranura con penetración completa de la junta. La altura de la cara de la raíz de las soldaduras de ranura con penetración parcial de la junta se rige por los requisitos de resistencia de la junta.

^b Se requiere ranurado del lado opuesto hasta alcanzar el metal base original antes de soldar del otro lado.

^c Solo en cualquier modo excepto el de ojo de cerradura.

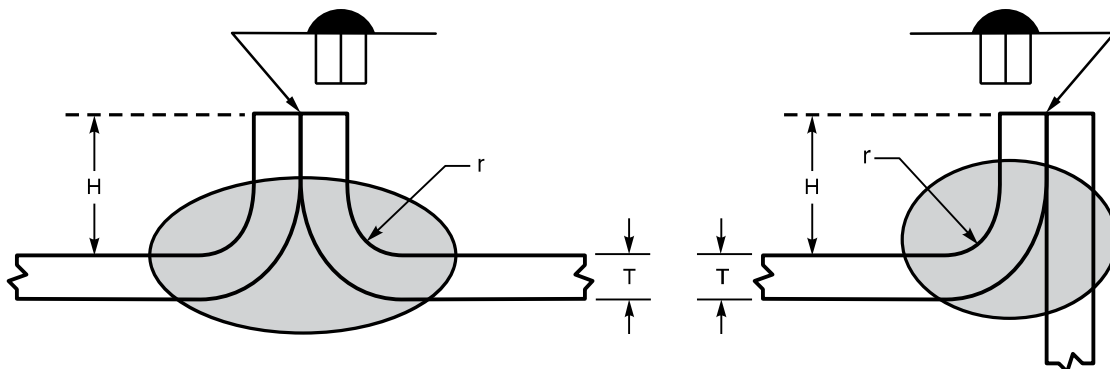
Figura A.1(i) – Juntas de soldadura de ranura en U doble

**Leyenda:**

T = espesor del miembro más delgado.

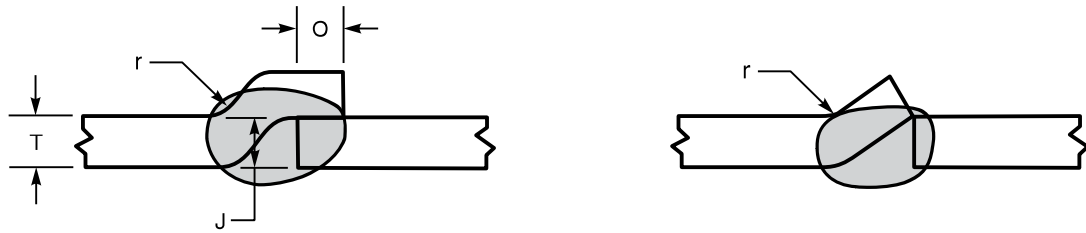
R = abertura de la raíz 0,010 pulg. [0,25 mm] para $T < 0,100$ pulg. [2,5 mm], 0,030 pulg. [0,76 mm] para $T \geq 0,100$ pulg. [2,5 mm]X = penetración mínima de la soldadura = $1/2 T$ o 0,015 pulg. [0,38 mm], el que sea mayor
Máx. = $2 \frac{1}{2} T$ o 0,187 pulg. [4,75 mm], el que sea menor

**Figura A.2—Juntas de soldadura en T de dos o tres piezas
—Soldaduras con perforación por fusión**



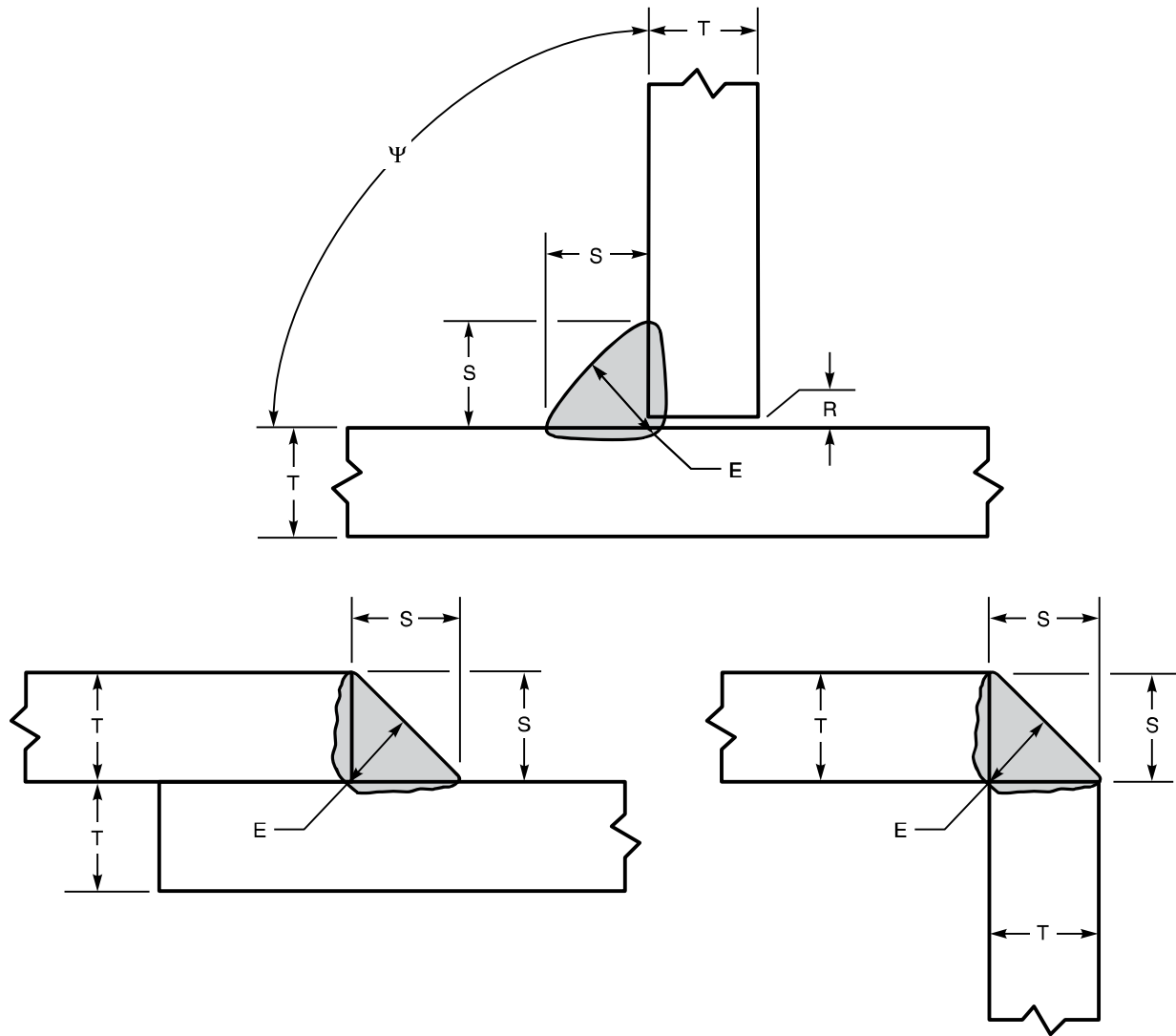
Espesor [T] pulg. [mm]	Radio máximo de curvado [r] (pulg. [mm])	Altura de la pestaña [H] (pulg. [mm])
0,016–0,032 [0,41–0,82]	0,04 [1]	0,08–0,12 [2–3]
0,033–0,062 [0,84–1,57]	0,06 [1,5]	0,10–0,16 [2,5–4]
0,063–0,100 [1,6–2,5]	2T	0,12–0,20 [3–5]

Figura A.3 (a)—Juntas pestañadas



Metal base	Espesor del metal base [T] (pulg. [mm])	Radio de curvado [r] (pulg. [mm])	Engrapado [J] (pulg. [mm])	Traslape [O] (pulg. [mm])
Titanio (CP)	0,020–0,040 [0,5–1,0]	0,04 [1] máx.	T +0,005 [0,13] –0,000 [0,00]	0,032–0,060 [0,81–1,5]
Acero inoxidable	0,020–0,063 [0,5–1,6]	0,04 [1] máx.	T +0,005 [0,13] –0,000 [0,00]	0,032–0,090 [0,81–2,29]
Níquel	0,020–0,063 [0,5–1,6]	0,06 [1,5] máx.	T +0,005 [0,13] –0,000 [0,00]	0,032–0,090 [0,81–2,29]

Figura A.3(b)—Juntas de bordes pestañados (no estándar)



Leyenda:

R = holgura de la raíz.

T = espesor del miembro más delgado.

S = tamaño mínimo de la soldadura.

E = garganta efectiva mínima.

Ψ = ángulo oblicuo.

E min. = $0,707T \times \text{factor}^{(1)}$.

Notas:

1. Para las juntas de esquina o solapadas donde se requiere el espesor total de la garganta: $S \text{ mín.} = T \text{ mín.}$ donde T es igual al espesor del miembro más delgado.
2. Vea el factor del tamaño de la soldadura de filete en la Tabla A.1.

Figura A.4—Detalles de la soldadura de filete

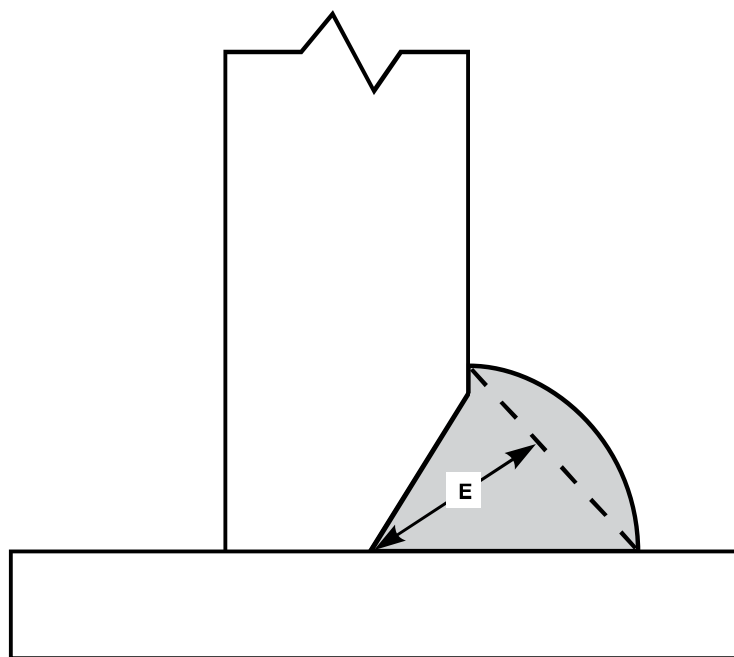
Tabla A.1
Tamaño equivalente del cateto
de la soldadura de filete para juntas
en T en ángulo oblicuo

Ángulo diedro [Y]	Tamaño de la soldadura de filete comparable para obtener la misma resistencia (pulg. [mm])
60	0,71 [18]
65	0,76 [19,3]
70	0,81 [20,6]
75	0,86 [21,8]
80	0,91 [23,1]
85	0,96 [24,4]
90	1,00 [25,4]
95	1,03 [26,2]
100	1,08 [27,4]
105	1,12 [28,4]
110	1,16 [29,5]
115	1,19 [30,2]
120	1,23 [31,2]
125	1,25 [31,75]
130	1,28 [32,5]
135	1,31 [33,3]

Apéndice B (Normativo)

Garganta efectiva

Este apéndice forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, e incluye elementos de uso obligatorio con esta norma.



E = Garganta efectiva

Nota: La garganta efectiva de una soldadura es la distancia mínima desde la raíz de la junta a su cara sin considerar los refuerzos.

Figura B.1 — Garganta efectiva

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Apéndice C (Normativo)

Criterios para la prueba de doblado

Este apéndice forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, e incluye elementos de uso obligatorio con esta norma.

C1. Alcance En este apéndice se describe la prueba de doblado de soldaduras de ranura y de filete. En él se encuentran los requisitos para la preparación de las probetas para la prueba de doblado, parámetros de prueba, procedimientos de prueba, requisitos del radio de doblado y los criterios de aceptación. Este apéndice se deberá utilizar cuando la prueba de doblado sea el método para aceptar una WPS o para calificar a un soldador u operario de soldadura.

C2. Criterios para la prueba de doblado. La prueba de doblado se podrá utilizar como una alternativa a la inspección radiográfica siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- a. El espesor de los miembros de la soldadura de prueba difieren en menos del 10 % del miembro más grueso.
- b. En las soldaduras de tubos, el diámetro exterior es igual o mayor de 2 pulg. [60 mm] o el espesor de la pared es igual o mayor de 0,250 pulg. [6,3 mm].
- c. La Tabla C.1 no incluye las aleaciones. Las aleaciones indicadas en la Tabla C.1 deberán ser sometidas a ensayos metalográficos o inspecciones radiográficas en reemplazo de la prueba de doblado.

C3. Prueba de doblado. Todas las soldaduras de filete en un metal base de más de 0,063 pulg. [1,6 mm] de espesor requieren una prueba de doblado, excepto que el ensayo metalográfico pudiese ser utilizado como una alternativa de la prueba de doblado. Los requisitos del radio de doblado se encuentran en las Tablas C.2 y C.2M. La prueba de doblado de soldaduras de ranura se puede utilizar como una alternativa a la inspección radiográfica como se describe en C2. Los requisitos de la prueba de doblado de soldaduras de ranura en tubos se encuentran en la Tabla C.3.

Tabla C.1
Metales base para los cuales no se puede aplicar la prueba de doblado

Grupo del metal base	Número unificado	Descripción común
IA	K91122	Acero 9Ni-4Co
	K91283	
	K91313	
	K91472	
	K92810	
		Acero martensítico envejecido 18Ni
IB	Todos	
IIA	S63198	19-9 DL
	S63199	19-9 DX
	R30155	N155
	R30590	S590
	S41800	Greek Ascoloy
	S42000	420
	S42200	422
IIB	Todos	
IIIB	Todos	
IV	A03560	356
	A92014	2014
	A92219	2219
V	Todos	
VI	R54620	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo
	R56210	Ti-6Al-2Cb-1Ta-1Mo
	R56260	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo
	R56620	Ti-6Al-6V-2Sn
	R58640	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr
	No disp.	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Cr-2Mo
	No disp.	Ti-15V-3Cr-3Mo-3Sn
VII	Todos	

Tabla C.2
Espesor de la probeta para la prueba de doblado y radio de curvatura (pulg.)

Radio de curvatura, A pulg. ^b	Espesor de la probeta para la prueba de doblado ^a					
	Número unificado (UNS)					
	R54520 R54810 R56320 R56400	A96061 A96063	R50400 R50550 R52400	R50250	A95083 A95086 A95456	Otro
	$F = 12^c$	$F = 8$	$F = 5$	$F = 4$	$F = 3$	$F = 2$
	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <
0,070						0,031 0,035
0,079						0,035 0,039
0,088						0,039 0,044
0,099					0,029 0,033	0,044 0,050
0,111					0,033 0,037	0,050 0,056
0,125					0,037 0,042	0,056 0,062
0,140				0,031 0,035	0,042 0,047	0,062 0,070
0,157				0,035 0,039	0,047 0,052	0,070 0,078
0,176			0,031 0,035	0,039 0,044	0,052 0,059	0,078 0,088
0,198			0,035 0,040	0,044 0,049	0,059 0,066	0,088 0,099
0,222			0,040 0,044	0,049 0,055	0,066 0,074	0,099 0,111
0,249			0,044 0,050	0,055 0,062	0,074 0,083	0,111 0,124
0,279		0,031 0,035	0,050 0,056	0,062 0,070	0,083 0,093	0,124 0,140
0,313		0,035 0,039	0,056 0,063	0,070 0,078	0,093 0,104	0,140 0,157
0,351		0,039 0,044	0,063 0,070	0,078 0,088	0,104 0,117	0,157 0,176
0,394	0,029 0,033	0,044 0,049	0,070 0,079	0,088 0,099	0,117 0,131	0,176 0,197
0,442	0,033 0,037	0,049 0,055	0,079 0,088	0,099 0,111	0,131 0,147	0,197 0,221
0,496	0,037 0,041	0,055 0,062	0,088 0,099	0,111 0,124	0,147 0,165	0,221 0,248
0,557	0,041 0,046	0,062 0,070	0,099 0,111	0,124 0,139	0,165 0,186	0,248 0,279
0,625	0,046 0,052	0,070 0,078	0,111 0,125	0,139 0,156	0,186 0,208	0,279 0,312
0,701	0,052 0,058	0,078 0,088	0,125 0,140	0,156 0,175	0,208 0,234	0,312 0,351
0,787	0,058 0,066	0,088 0,098	0,140 0,157	0,175 0,197	0,234 0,262	0,351 0,393
0,883	0,066 0,074	0,098 0,110	0,157 0,177	0,197 0,221	0,262 0,294	
0,991	0,074 0,083	0,110 0,124	0,177 0,198	0,221 0,248	0,294 0,330	
1,111	0,083 0,093	0,124 0,139	0,198 0,222	0,248 0,278	0,330 0,370	
1,247	0,093 0,104	0,139 0,156	0,222 0,249	0,278 0,312	0,370 0,416	
1,399	0,104 0,117	0,156 0,175	0,249 0,280	0,312 0,350		
1,570	0,117 0,131	0,175 0,196	0,280 0,314	0,350 0,392		
1,761	0,131 0,147	0,196 0,220	0,314 0,352			
1,976	0,147 0,165	0,220 0,247	0,352 0,395			
2,218	0,165 0,185	0,247 0,277				
2,488	0,185 0,207	0,277 0,311				
2,872	0,207 0,233	0,311 0,349				
3,132	0,233 0,261	0,349 0,392				
3,515	0,261 0,293					
3,943	0,293 0,329					
4,425	0,329 0,369					
4,965	0,369 0,414					

^a El cuerpo de la tabla contiene el espesor de la probeta de doblado (T1) en pulgadas.

^b La tolerancia del radio de curvatura es $\pm 0,001$ pulg. o $\pm 1\%$, el que sea mayor.

^c F = factor de curvatura

Tabla C.2M
Espesor de la probeta para la prueba de doblado y radio de curvatura (mm)

Radio de curvatura, A mm ^b	Espesor de la probeta para la prueba de doblado ^a					
	Número unificado (UNS)					
	R54520 R54810 R56320 R56400	A96061 A96063	R50400 R50550 R52400	R50250	A95083 A95086 A95456	Otros
	F = 12 ^c	F = 8	F = 5	F = 4	F = 3	F = 2
	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <	≥ <
1,78						0,79 0,89
2,01						0,89 0,99
2,24						0,99 1,12
2,51					0,74 0,84	1,12 1,27
2,82					0,84 0,94	1,27 1,42
3,18					0,94 1,07	1,42 1,57
3,56				0,79 0,89	1,07 1,19	1,57 1,78
3,99				0,89 0,99	1,19 1,32	1,78 1,98
4,47			0,79 0,89	0,99 1,12	1,32 1,50	1,98 2,24
5,03			0,89 1,02	1,12 1,24	1,50 1,68	2,24 2,51
5,64			1,02 1,12	1,24 1,40	1,68 1,88	2,51 2,82
6,32			1,12 1,27	1,40 1,57	1,88 2,11	2,82 3,15
7,09		0,79 0,89	1,27 1,42	1,57 1,78	2,11 2,36	3,15 3,56
7,95		0,89 0,99	1,42 1,60	1,78 1,98	2,36 2,64	3,56 3,99
8,92		0,99 1,12	1,60 1,78	1,98 2,24	2,64 2,97	3,99 4,47
10,01	0,74 0,84	1,12 1,24	1,78 2,01	2,24 2,51	2,97 3,33	4,47 5,00
11,23	0,84 0,94	1,24 1,40	2,01 2,24	2,51 2,82	3,33 3,73	5,00 5,61
12,60	0,94 1,04	1,40 1,57	2,24 2,51	2,82 3,15	3,73 4,19	5,61 6,30
14,15	1,04 1,17	1,57 1,78	2,51 2,82	3,15 3,53	4,19 4,72	6,30 7,09
15,88	1,17 1,32	1,78 1,98	2,82 3,18	3,53 3,96	4,72 5,28	7,09 7,92
17,01	1,32 1,47	1,98 2,24	3,18 3,56	3,96 4,45	5,28 5,94	7,92 8,92
20,00	1,47 1,68	2,24 2,49	3,56 3,99	4,45 5,00	5,94 6,65	8,92 9,98
22,43	1,68 1,88	2,49 2,79	3,99 4,50	5,00 5,61	6,65 7,47	
25,17	1,88 2,11	2,79 3,15	4,50 5,03	5,61 6,30	7,47 8,38	
28,22	2,11 2,36	3,15 3,53	5,03 5,64	6,30 7,06	8,38 9,40	
31,67	2,36 2,64	3,53 3,96	5,64 6,32	7,06 7,92	9,40 10,57	
35,53	2,64 2,97	3,96 4,45	6,32 7,11	7,92 8,89		
39,88	2,97 3,33	4,45 4,98	7,11 7,98	8,89 9,96		
44,73	3,33 3,73	4,98 5,59	7,98 8,94			
50,19	3,73 4,19	5,59 6,27	8,94 10,03			
56,34	4,19 4,70	6,27 7,04				
63,20	4,70 5,26	7,04 7,90				
72,95	5,26 5,92	7,90 8,86				
79,96	5,92 6,63	8,86 9,96				
89,28	6,63 7,44					
100,15	7,44 8,36					
112,4	8,36 9,37					
126,11	9,37 10,52					

^a El cuerpo de la tabla contiene el espesor de la probeta de doblado (T1) en pulgadas.

^b La tolerancia del radio de curvatura es $\pm 0,03$ mm o $\pm 1\%$, el que sea mayor.

^c F = factor de curvatura

Tabla C.3
Probetas para prueba de doblado de soldaduras de ranura en tubos

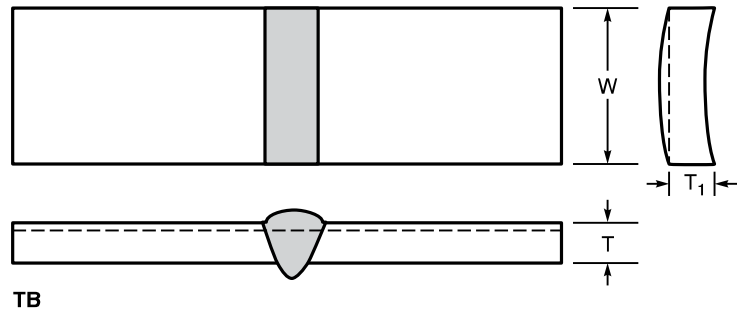
Tubo			Probeta para prueba de doblado				
Diámetro externo pulg. [mm]	Espesor de pared <i>T</i> , pulg. [mm]	Número del metal base	Tipo mostrado en la Fig. C.1	Dimensión, pulg. [mm]			
				T1		W	
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1	2	3	4	5	6	7	8
< 2 [51]	Todos	Todos	Requiere inspección radiográfica				
2 – 5	< 0,250 [6,3]	Todos	Requiere inspección radiográfica				
[51–127]	≥ 0,250 – 0,375 [6,3 – 9,5]	(Nota a) Todos los otros	TB-e y TB-f TB-e y TB-f	0,115 [2,9] (Nota b)	0,135 [3,4] (Nota b)	0,750 [19] 0,750 [19]	0,800 [20,3] 0,800 [20,3]
	< 0,375 – 0,750 [9,5–19]	(Nota a)	TB-e y TB-f o SB-g	0,115 [2,9] 0,115 [2,9]	0,135 [3,4] 0,135 [3,4]	0,750 [19] T	0,800 [20,3] T
		Todos los otros	TB-e y TB-f o SB-g	(Nota c) 0,350 [8,9]	(Nota c) 0,400 [10,2]	0,750 [19] T	0,800 [20,3] T
	> 0,750 [19]	(Nota a) Todos los otros	SB-g SB-g	0,115 [2,9] 0,350 [8,9]	0,135 [3,4] 0,400 [10,2]	T T	T T
> 5 [127]	< 0,250 [6,3]	Todos	Requiere inspección radiográfica				
	≥ 0,250 – 0,375 [6,3–9,5]	(Nota a) Todos los otros	TB-e y TB-f TB-e y TB-f	0,115 [2,9] (Nota b)	0,135 [3,4] (Nota b)	1,50 [38,1] 1,50 [38,1]	1,55 [39,4] 1,55 [39,4]
	> 0,375 – 0,750 [9,5–19]	(Nota a)	TB-e y TB-f o SB-g	0,115 [2,9] 0,115 [2,9]	0,135 [3,4] 0,135 [3,4]	1,50 [38,1] T	1,55 [39,4] T
		Todos los otros	TB-e y TB-f o SB-g	(Nota c) 0,350 [8,9]	(Nota c) 0,400 [10,2]	1,50 [38,1] T	1,55 [39,4] T
	> 0,750 [19]	(Nota a) Todos los otros	SB-g SB-g	0,115 [2,9] 0,350 [8,9]	0,135 [3,4] 0,400 [10,2]	(Nota d) (Nota d)	T T

^a A96061 y A96063 del Grupo IV de metales base.

^b El T1 máximo es el espesor resultante de acomodar la superficie curva al plano. El T1 mínimo es 0,9 veces el máximo.

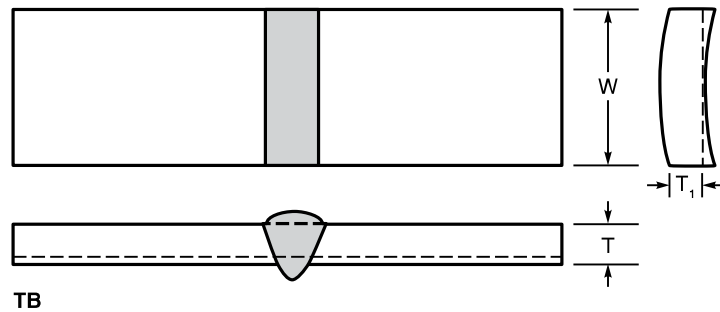
^c El T1 máximo es el espesor resultante de acomodar la superficie curva a un plano, o 0,400 pulg. [10 mm], el que sea menor. En el primer caso, el T1 mínimo es 0,9 veces el máximo. En el segundo caso, el T1 mínimo es 0,350 pulg. [9 mm].

^d Para espesores de pared de >0,750 a 1,50 pulg. [19 a 38 mm], W es igual a T. Para espesores de pared >1,50 pulg. [38 mm], las probetas se pueden cortar en tiras aproximadamente iguales de entre 0,75 y 1,50 pulg. [19 a 38 mm] de ancho para las pruebas, o se pueden doblar en todo su ancho.



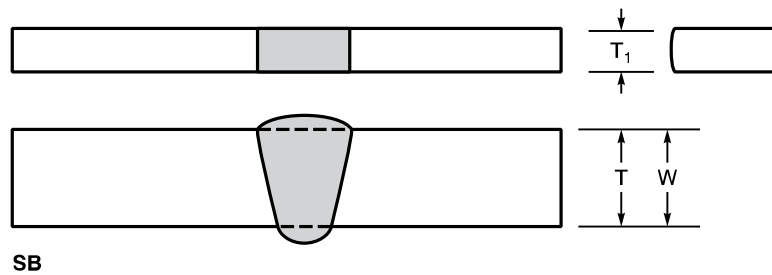
NOTA: el espesor de la probeta para la prueba de plegado transversal de raíz se mide en el borde de la probeta.

a. DOBLADO TRANSVERSAL DE RAÍZ

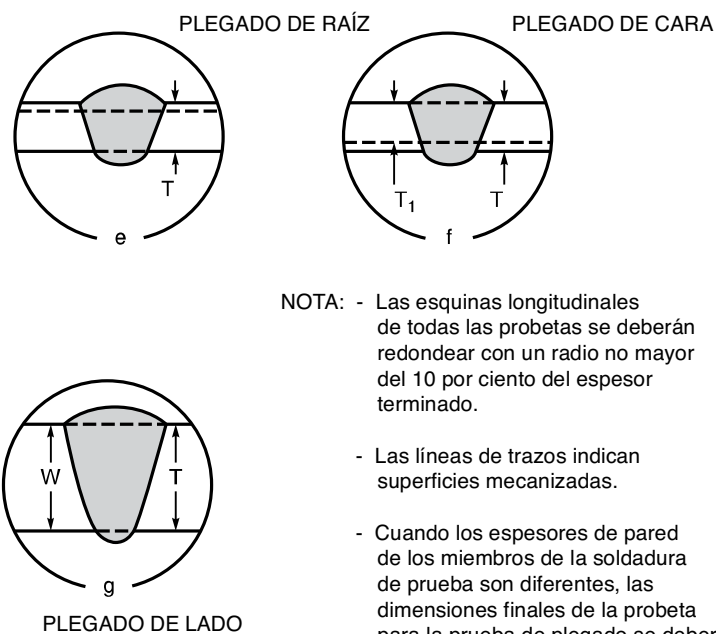


NOTA: el espesor de la probeta para la prueba de plegado transversal de raíz se mide en el centro de la probeta.

b. DOBLADO TRANSVERSAL DE CARA



c. DOBLADO DE LADO



d. DETALLES DE LA SECCIÓN DE LA PROBETA DE DOBLADO

Figura C.1 — Probetas para prueba de doblado de soldadura de ranura en tubos

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Apéndice D (Informativo)

Referencias informativas

Este apéndice no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales, pero se incluye únicamente para fines informativos.

- AWS B2.1/B2.1M, Especificación para la calificación del procedimiento y del desempeño de la soldadura;
AWS B4.0, Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras, únicamente en unidades de uso común en los EE. UU.;
AWS B4.0M, Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras, únicamente en unidades métricas;
AWS C7.1M/C7.1, Recommended Practices for Electron Beam Welding (Prácticas recomendadas para soldadura por haz de electrones);
AWS C7.2, Recommended Practices for Laser Beam Welding, Cutting and Drilling (Prácticas recomendadas para soldadura, corte y perforación por láser);
AWS D1.1/D1.1M, Código de soldadura estructural: acero
AWS D1.2/D1.2M, Código de soldadura estructural: aluminio
AWS D1.3/D1.3M, Structural Welding Code — Sheet Steel (Código de soldadura estructural: láminas de acero)
AWS D1.4M/D1.4, Structural Welding Code — Reinforcing Bar (Código de soldadura estructural: barras de refuerzo)
AWS D1.5/D1.5M, Código de soldadura para puentes
AWS D1.6/D1.6M, Structural Welding Code — Stainless Steel (Código de soldadura estructural: acero inoxidable)
AWS D3.6M, Specification for Underwater Welding (Especificación para soldaduras subacuáticas)
AWS D5.2, Standard for Welded Steel — Elevated Tanks, Standpipes, and Reservoirs for Water Storage, (Norma para la soldadura de acero en tanques elevados, columnas de alimentación de agua y depósitos de almacenamiento de agua) — Norma D100 de la American Waterworks Association (AWWA) (Asociación Estadounidense de Obras Sanitarias)
AWS D9.1M/D9.1, Sheet Metal Welding Code (Código de soldadura de láminas de metal)
AWS D14.1/D14.1M, Industrial and Mill Crane and Other Material Handling Equipment, Specification for Welding (Especificación para la soldadura de grúas industriales, puentes grúa y otros equipos para manejo de materiales)
AWS D14.3/D14.3M, Specification for Welding Earthmoving, Construction, and Agricultural Equipment (Especificación para soldaduras en equipos para movimiento de tierra, construcción y agricultura)
AWS D14.4/D14.4M, Specification for Welded Joints in Machinery and Equipment (Especificación para juntas soldadas en maquinaria y equipos)
AWS D14.5/D14.5M, Specification for Welding of Presses and Press Components (Especificación para la soldadura de prensas y componentes de prensas)
AWS D14.6/D14.6M, Rotating Elements for Equipment, Specification for Welding (Especificación para la soldadura de componentes giratorios de equipos)
AWS D14.7/D14.7M, Recommended Practice for Surfacing and Reconditioning of Industrial Mill Rolls (Práctica recomendada para el revestimiento y reacondicionamiento de rodillos de laminación industrial)
AWS D14.8M (ISO/TR 17844:2004 IDT), Standard Methods for the Avoidance of Cold Cracks (Métodos estándar para la prevención de grietas en frío)
AWS D15.1/D15.1M, Especificación de soldadura ferroviaria para vagones y locomotoras

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Apéndice E (Informativo)

Prácticas seguras

Este apéndice no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, pero se incluye únicamente para fines informativos.

Este apéndice cubre muchos de los elementos básicos de seguridad, comúnmente empleados en los procesos de soldadura por arco. Incluye muchos, pero no todos, los aspectos de seguridad relacionados a la soldadura por fusión. Las Secciones E1 a E6 tratan las prácticas generales mientras que las E7 y E8 cubren las necesidades de los procesos de soldadura por haz de electrones o rayos láser o de cualquier proceso en el que intervenga el uso de tecnología sofisticada. Este apéndice trata los peligros que se pueden encontrar y las prácticas que reducirán al mínimo las lesiones personales y los daños a la propiedad.

E1. Riesgos eléctricos

Las descargas eléctricas pueden producir la muerte. No obstante, esto puede evitarse. No se debe tocar partes eléctricas activas. Lea y comprenda las instrucciones del fabricante y las prácticas de seguridad recomendadas. Las instalaciones defectuosas, la conexión a tierra incorrecta y la incorrecta operación y mantenimiento de equipos eléctricos son todas fuentes de peligro.

Todos los equipos eléctricos y la pieza en la que se trabaja deben estar conectados a tierra. La conexión a tierra de la pieza en la que se trabaja requiere un conductor separado de la masa del equipo de soldadura. Es decir, no se debe confundir el cable de masa de la pieza con el cable de la conexión a tierra.

Para evitar una descarga, mantenga siempre secos el lugar de trabajo, el equipo y la vestimenta. Se debe utilizar guantes secos y zapatos con suela de caucho. El soldador o el operario de soldadura deben estar de pie o sentados sobre una tabla seca o una plataforma aislada.

Mantenga en buen estado los cables y conectores. No utilice cables dañados, desnudos o con el aislamiento desgastado. En caso de descarga eléctrica se deberá apagar la energía inmediatamente. Si el rescatista debe tirar de la víctima para separarla del contacto con la electricidad, deberá utilizar materiales no conductores.

Llame inmediatamente a un médico y aplique al accidentado una técnica de Resucitación Cardio Respiratoria (CPR) hasta restablecer la respiración o hasta que llegue el médico (vea la referencias 7, 8 y 10).

E2. Humos y gases

Muchos procesos de soldadura, corte y otros procesos afines producen humos y gases que pueden ser perjudiciales para la salud. El humo y las partículas sólidas se originan a partir de los consumibles de soldadura, el metal base y cualquier recubrimiento presente en el metal base. Los gases se producen durante el proceso de soldadura o pueden producirse a causa de la radiación del proceso en el ambiente circundante. Todas las personas relacionadas con la operación de soldadura deben estar familiarizados con los efectos de estos humos y gases.

Los efectos posibles de la sobre exposición a humos y gases varían desde la irritación de los ojos, la piel y el sistema respiratorio a complicaciones más serias. Los efectos pueden ocurrir inmediatamente o en un futuro. El humo puede causar síntomas tales como náuseas, dolor de cabeza, mareos y fiebre relacionada al humo del metal.

Se deberá utilizar ventilación suficiente o un extractor en el arco, o ambos sistemas, para mantener el humo y los gases fuera de las zonas de respiración y del lugar de trabajo y sus alrededores.

Si necesita información más detallada sobre el humo y los gases producidos por los diferentes procesos de soldadura consulte las referencias 1, 4 y 11.

E3. Ruido

El ruido excesivo es reconocido como un peligro para la salud. La exposición al ruido excesivo puede causar pérdida de la audición. Esta pérdida de audición puede ser total o parcial y temporaria o permanente. El ruido excesivo afecta negativamente la capacidad de audición. Además, existe evidencia de que el ruido excesivo afecta otras funciones corporales y el comportamiento.

Pueden utilizarse dispositivos de protección como protectores tipo orejera o tapones para los oídos. En general estos dispositivos solo son aceptados cuando los controles de ingeniería no son del todo efectivos (vea las referencias 1, 5 y 11).

E4. Protección contra quemaduras

Al soldar, cortar o realizar procesos afines se produce metal derretido, chispas, escoria y superficies muy calientes. Estos elementos pueden causar quemaduras si no se utilizan medidas de precaución.

Los trabajadores deben usar ropa de seguridad fabricada con un material resistente al fuego. No se debe usar pantalones con dobladillos hacia fuera ni ropas con bolsillos abiertos o aberturas que pudieran retener metal derretido o chispas. Se debe usar zapatos de caña alta o cubre-piernas de cuero y guantes resistentes al fuego. Las piernas de los pantalones se deben usar por encima de la parte exterior de la caña de las botas. Se deberán utilizar cascos o caretas de mano para proteger la cara, el cuello y las orejas como así también una caperuza para proteger la cabeza.

La ropa debe mantenerse limpia de grasa y aceite. No se debe llevar materiales combustibles ni encendedores de propano en los bolsillos. Si se derramara alguna sustancia combustible sobre la ropa, ésta se deberá reemplazar por ropa limpia, resistente al fuego, antes de trabajar con arcos eléctricos o llamas. No utilice joyas en manos ni brazos.

Utilice protección ocular adecuada en todo momento. Utilice siempre gafas protectoras para aumentar la protección de los ojos. Utilice guantes aislantes en todo momento cuando esté en contacto con elementos calientes o al manejar equipos eléctricos.

Si necesita información más detallada sobre protección personal, consulte las referencias 2, 3, 7 y 11.

E5. Prevención de incendios

Al soldar, cortar o realizar procesos afines se produce metal derretido, chispas, escoria y superficies muy calientes. Estos elementos pueden causar incendios o explosiones si no se utilizan medidas de precaución.

Las explosiones han ocurrido cuando se han realizado soldaduras o cortes en espacios que contienen gases, vapores, líquidos o polvos inflamables. Todo el material combustible debe ser eliminado de la zona de trabajo. Siempre que sea posible se deberá mudar el trabajo a una ubicación alejada de los materiales combustibles. Si ninguna de las dos acciones es posible, los combustibles se deben proteger con una cubierta de material resistente al fuego. Se deberán retirar o proteger en forma segura todos los materiales combustibles dentro en un radio de 35 pies [11 m] alrededor del área de trabajo. Cuando se realicen soldaduras in situ o en la aeronave, se deberá contar con un guardia contra incendios quien deberá permanecer en el lugar más de 30 minutos después de finalizado el trabajo.

No se debe realizar tareas de soldadura o corte en atmósferas que contengan gases, vapores, líquidos o polvos peligrosamente reactivos o inflamables. No se debe aplicar calor a un recipiente que haya contenido una sustancia desconocida o un material combustible cuyo contenido, al ser calentado, pueda producir vapores inflamables o explosivos. Se debe proporcionar una ventilación adecuada en las áreas de trabajo para prevenir la acumulación de gases, vapores o polvo inflamable. Se debe limpiar y purgar los recipientes antes de aplicar calor.

Si necesita información más detallada sobre los riesgos de incendio causados por las operaciones de soldadura y corte, vea las referencias 6, 7, 9 y 11.

E6. Radiación

La soldadura, corte y otras operaciones afines pueden producir energía radiante (radiación) perjudicial para la salud. Todas las personas deben estar familiarizadas con los efectos de esta energía radiante.

La energía radiante puede ser ionizante (como los rayos X) o no ionizante (como la luz ultravioleta, la luz visible o la infrarroja). La radiación puede producir diversos efectos como quemaduras en la piel o daño ocular en caso de exposición excesiva.

Algunos procesos como los de soldadura por resistencia y la soldadura de presión en frío producen cantidades despreciables de energía radiante. Sin embargo, la mayoría de los procesos de soldadura y corte por arco (excepto cuando

se utiliza el arco sumergido de forma adecuada), la soldadura y el corte láser y con antorcha, la soldadura fuerte o la soldadura blanda pueden producir cantidades de radiación no ionizante que hacen necesarias las medidas de precaución.

La protección contra los efectos perjudiciales posibles incluye lo siguiente:

- (1) No se debe mirar los arcos de soldadura excepto a través de lentes de filtro para soldadura (vea la referencia 2). Las cortinas transparentes para soldadura no sirven como filtros para la radiación de la soldadura sino para proteger a los transeúntes ante la exposición casual.
- (2) La piel expuesta debe estar protegida por guantes y ropa adecuada como se ha especificado (vea la referencia 7).
- (3) Se deberá proteger a los transeúntes casuales de las operaciones de soldadura mediante el uso de pantallas, cortinas o por una distancia adecuada de pasillos, caminos, etc.
- (4) Está demostrado que los anteojos de seguridad con escudos laterales de protección ultravioleta proporcionan cierta protección beneficiosa contra la radiación ultravioleta producida por los arcos de soldadura.

E6.1 Electrodo de tungsteno toriado, fabricados con torio radiactivo. El torio es un elemento radiactivo que emite partículas alfa (radiación A). Aunque la partícula alfa no tiene la capacidad de penetración de las partículas beta o los rayos gamma, conlleva el peligro latente de producir daños graves si ingresa en el cuerpo. Esto podría ocurrir cuando las pequeñas partículas de polvo entran en contacto con las manos y los dedos del soldador durante las tareas de rectificación y afilado del electrodo. Las partículas podrían ser ingeridas al comer o al quedar atrapadas en las cavidades del cuerpo. Dado que el envenenamiento por radiación es acumulativo y los síntomas no se ponen en evidencia hasta varios años más tarde, se recomienda que los soldadores lleven a cabo prácticas seguras durante la rectificación de electrodos toriados. Entre estas prácticas podemos mencionar la limpieza del lugar donde se realizó la rectificación y el afilado después de acondicionar los electrodos y el lavado de las manos tras la finalización de la tarea. Existen máquinas especiales para rectificar los electrodos de tungsteno que contienen el polvo y los materiales generados, cuyo uso ha demostrado ser muy útil.

E7. Soldadura por haz de electrones Además de los peligros potenciales de seguridad asociados con los procesos de soldadura en general, hay riesgos de seguridad asociados específicamente con el proceso de soldadura por haz de electrones. Entre estos podemos mencionar los siguientes:

- (1) Descarga eléctrica
- (2) Radiación X
- (3) Humos y gases
- (4) Radiación visible
- (5) Vacío

E7.1 Descarga eléctrica. A diferencia de los procesos de soldadura por arco, los voltajes empleados en las máquinas de soldadura por haz de electrones son lo suficientemente altos como para causar una lesión mortal al personal. Durante las operaciones de soldadura y de mantenimiento del cañón de electrones y las fuentes de alimentación de alto voltaje se debe adoptar precauciones para garantizar la seguridad del personal.

E7.2 Radiación X. Siempre que el haz de electrones esté encendido, el sistema puede generar rayos X. Si el equipo de haz de electrones no está bien protegido o se utiliza de manera indebida, se podría producir una fuga de rayos X que expone al personal a una dosis de radiación suficiente para causar una lesión.

E7.3 Humos y gases. Entre los humos y gases tóxicos que pueden ser generados en cantidades suficientes para alcanzar un nivel perjudicial para la salud se encuentran el ozono (O₃), diferentes óxidos de nitrógeno (NO y NO₂, en particular) y los vapores metálicos de la pieza en la que se está soldando. Las partículas depositadas durante la soldadura sobre los montajes y las paredes del recinto que alberga la pieza sometida al proceso de soldadura pueden flotar en el ambiente cuando son desplazadas por corrientes de aire. No se debe permitir que el personal entre en el recinto que alberga la pieza después de la soldadura hasta que las concentraciones de contaminantes presentes en el aire se hayan reducido a niveles seguros.

E7.4 Radiación visible. La observación directa de la luz visible generada por las operaciones de soldadura es perjudicial para la vista.

Dado que la intensidad de la radiación aumenta con la temperatura del metal, se deben utilizar filtros adecuados para proteger los ojos.

E7.5 Vacío. Todas las máquinas de soldadura por haz de electrones requieren de un alto vacío para la generación del haz y un cierto nivel de vacío alrededor de la pieza a soldar. Por este motivo, los usuarios deben observar las precauciones de seguridad asociadas con los sistemas de vacío convencionales.

Si necesita información más detallada sobre los requisitos de seguridad para la soldadura por haz de electrones vea la referencia 12.

E8. Soldadura por rayo láser

Además de los peligros potenciales de seguridad asociados con los procesos de soldadura, existen riesgos de seguridad asociados específicamente con el proceso de soldadura por rayo láser. Entre estos podemos mencionar los siguientes:

- (1) Riesgos eléctricos
- (2) Radiación
- (3) Humos y gases

E8.1 Riesgos eléctricos. A diferencia de los procesos de soldadura por arco, los voltajes empleados en las máquinas de soldadura por rayo láser son lo suficientemente altos como para causar una lesión mortal al personal. Durante las operaciones de soldadura y de mantenimiento del equipo se debe adoptar precauciones para garantizar la seguridad del personal.

E8.2 Radiación. Hay dos peligros potenciales asociados con la radiación láser, los daños en la vista y en la piel. La extensión del daño dependerá del tipo de láser, el nivel de potencia empleado, el material sometido al proceso de soldadura y los gases de protección.

El daño ocular puede incluir daños a la córnea, la retina o a ambas. El daño en la piel suele ser quemaduras que pueden ser profundas y causar un daño permanente.

Se debe utilizar filtros adecuados para proteger los ojos.

E8.3 Humos y gases. Entre los humos y gases tóxicos que pueden ser generados en cantidades suficientes para alcanzar un nivel perjudicial para la salud se encuentran el ozono (O₃), partículas de metal y de óxido, y otros gases tóxicos.

Si necesita información más detallada sobre los requisitos de seguridad para la soldadura por rayo láser, vea la referencia 13.

E9. Referencias

1. American Conference of Governmental Industry Hygienists (ACGIH). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment* (Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos en el entorno de trabajo). Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industry Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales).
2. American National Standards Institute (ANSI) *Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection* (Prácticas laborales y educativas relacionadas con la protección ocular y facial), ANSI Z87.1. New York: American National Standards Institute.
3. ——. *Standard Specification for Performance Requirements for Foot Protection* (Especificación estándar para los requisitos de rendimiento de la protección de los pies), ASTM F2413. West Conshohocken, PA: ASTM International.
4. American Welding Society (AWS). *Fumes and Gases in the Welding Environment* (Humos y gases en el entorno de soldadura), reporte de la AWS. FL: American Welding Society.
5. ——. *Method for Sound Level Measurement of Manual Arc Welding and Cutting Processes* (Método para la medición del nivel de sonido durante los procesos manuales de soldadura y corte por arco), AWS F6.1. FL: American Welding Society.
6. ——. *Recommended Safe Practices for the Preparation for Welding and Cutting Containers That Have Held Hazardous Substances* (Prácticas de seguridad recomendadas para los preparativos de soldadura y corte en recipientes que han contenido sustancias peligrosas), AWS F4.1. FL: American Welding Society.
7. ——. *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes* (Seguridad en procesos de soldadura, corte y procesos afines), ANSI Z49.1. FL: American Welding Society.
8. ——. *Safety Practices* (Prácticas de seguridad). (Reimpresión del manual de soldadura, volumen 1, octava edición) FL: American Welding Society.
9. National Fire Protection Association (NFPA). *Cutting and Welding Processes* (Procesos de corte y soldadura), norma 51B de la NFPA. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
10. ——. *National Electrical Code* (Código Eléctrico Nacional de EE. UU.), N.º 70 de la NFPA, Quincy, MA: National Fire Protection Association.
11. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional). *Code of Federal Regulations* (Código de Regulaciones Federales), Normas de la industria en general. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
12. American Welding Society. *Recommended Practices for Electron Beam Welding* (Prácticas recomendadas para soldadura por haz de electrones). AWS C7.1. FL: American Welding Society.
13. American Welding Society. *Recommended Practices for Laser Beam Welding, Cutting, and Drilling* (Prácticas recomendadas para soldadura, corte y perforación por láser), AWS C7.2. FL: American Welding Society.

Apéndice F (Informativo)

Guía para la elaboración de consultas técnicas

Este apéndice no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, pero se incluye únicamente para fines informativos.

F1. Introducción

La Junta directiva de la American Welding Society (AWS) ha adoptado una política por la cual todas las interpretaciones oficiales de las normas de la AWS se manejan de manera formal. Bajo esa política, todas las interpretaciones quedan a cargo del comité responsable de la norma. La comunicación oficial relativa a la interpretación se dirige a través de un miembro del personal de la AWS que trabaje con dicho comité. La política exige que todas las solicitudes para una interpretación sean enviadas por escrito. Tales solicitudes se manejarán con la mayor celeridad posible pero, debido a la complejidad de la tarea y a los procedimientos que se deben seguir, algunas interpretaciones pueden demandar un tiempo considerable.

F2. Procedimiento

Todas las consultas deberán dirigirse a:

Managing Director
Technical Services Division
American Welding Society
8669 Doral Blvd,
Doral, FL 33166

Todas las consultas deberán contener nombre, dirección y afiliación de la persona que formula la consulta y deberán suministrar la suficiente información para que el comité comprenda el objetivo de la consulta. Cuando ese objetivo no esté claramente definido, la consulta será devuelta para su aclaración. Para un manejo eficiente, todas las consultas deben escribirse a máquina y en el formato que se especifica a continuación.

F2.1 Alcance. Cada consulta deberá abordar una única disposición de la norma, a menos que el objetivo de la consulta intervenga en dos o más disposiciones interrelacionadas. La disposición o las disposiciones deben identificarse en el alcance de la consulta, junto con la redacción de la norma que contiene las disposiciones en cuestión.

F2.2 Objetivo de la consulta. En esta porción de la consulta se deberá establecer el propósito de la consulta. El propósito puede consistir en obtener una interpretación de los requisitos de la norma o solicitar la revisión de una determinada disposición de la norma.

F2.3 Contenido de la consulta. La consulta debe ser concisa pero completa, a fin de permitir que el comité entienda el objetivo de la consulta. Cuando sea apropiado se deberá usar esquemas y deberá citarse todos los párrafos, figuras y tablas (o apéndices) relacionados con la consulta. Si el objetivo de la consulta es obtener una revisión de la norma, la consulta deberá proveer una justificación técnica de dicha revisión.

F2.4 Respuesta propuesta. La persona que formula la consulta debe, como respuesta propuesta, formular una interpretación de la disposición que represente el objetivo de la consulta o facilitar el texto de una revisión propuesta, si esto es lo que pretende dicha persona.

F3. Interpretación de las disposiciones de la norma

Las interpretaciones de las disposiciones de la norma quedan a cargo del correspondiente comité técnico de la AWS. El secretario del comité remite todas las consultas al presidente del subcomité que tiene jurisdicción sobre la sección de la norma a la que hace referencia la consulta. El subcomité analiza la consulta y la respuesta propuesta para determinar la respuesta a la consulta. Con posterioridad al desarrollo de la respuesta por parte del subcomité, tanto la consulta como la respuesta se presentan al comité para su análisis y aprobación. Una vez que el comité otorga la aprobación, la interpretación se convierte en una interpretación oficial de la Sociedad y el secretario transmite la respuesta a la persona que formula la consulta y al *Welding Journal* para su publicación.

F4. Publicación de las interpretaciones

Todas las interpretaciones oficiales se publicarán en el *Welding Journal* y en el sitio web de la AWS.

F5. Consultas telefónicas

Las consultas referidas a las normas de la AWS que se realicen en forma telefónica a la oficina central de la AWS, deben limitarse a cuestiones de índole general o directamente relacionadas con el uso de la norma. El *Board Policy Manual* (Manual de políticas de la Junta Directiva) de la AWS exige que todos los miembros del personal de la AWS respondan a una solicitud telefónica de una interpretación oficial de cualquier norma de la AWS con la información de que tal interpretación se puede obtener únicamente por medio de una solicitud por escrito. El personal de la oficina central no puede proveer servicios de consulta. Sin embargo, el personal puede remitir a la persona que llama a cualquiera de los consultores cuyos nombres se encuentran en el archivo de la oficina central de la AWS.

F6. Comités técnicos de la AWS

Las actividades de los comités técnicos de la AWS relacionadas con las interpretaciones, están limitadas estrictamente a la interpretación de las disposiciones de las normas elaboradas por los comités o a la consideración de revisiones de las disposiciones existentes sobre la base de nueva información o tecnología. Ni el personal ni los comités de la AWS están en posición de ofrecer servicios de interpretación o de consulta sobre: (1) problemas específicos de ingeniería, (2) solicitudes de normas aplicadas a construcciones fuera del alcance del documento o (3) asuntos no cubiertos específicamente por la norma. En esos casos, la persona que formula la consulta debe solicitar la asistencia de un ingeniero competente, con experiencia en el campo particular de interés.

Apéndice G (Informativo)

Comentario

Este apéndice no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, pero se incluye únicamente para fines informativos.

Prefacio

Este prefacio no forma parte de AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*, pero se incluye únicamente para fines informativos.

Nota: todas las referencias a las subsecciones, tablas y figuras numeradas, salvo que se indique de otra manera, se refieren a subsecciones, tablas o figuras contenidas en la norma AWS D17.1/D17.1M:2010, *Especificación de la soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales*. Las referencias a subsecciones, tablas o figuras en este comentario llevan el prefijo G. Por lo tanto, la Figura 5.2 está en AWS D17.1/D17.1M, mientras que la Figura G5.2 está en este comentario.

Este comentario sobre AWS D17.1/D17.1M: 2010 ha sido preparado para generar una mejor comprensión de la aplicación de esta especificación en la soldadura de aeronaves y componentes aeroespaciales.

Dado que la especificación no puede contener la información de fondo o tratar la intención del comité, la función de este comentario es la de cubrir esta necesidad.

Las sugerencias para la aplicación, así como la aclaración de los requisitos de la especificación, se ofrecen con especial hincapié en los requisitos que difieren de los requisitos indicados en las normas MIL-STD-1595 o MIL-STD-2219.

Se debe reconocer que la premisa fundamental de esta especificación es proporcionar estipulaciones generales y dejar suficiente amplitud para el ejercicio de los criterios de ingeniería. Debido a la naturaleza variada de la industria aeroespacial, no es posible establecer un único conjunto de controles de la especificación que sean aplicables a todas las aplicaciones de diseño. Esta especificación representa la experiencia colectiva de la comisión y si bien algunas disposiciones pueden parecer demasiado conservadoras para algunas aplicaciones, pueden ser demasiado liberales en otras. Todas las disposiciones se basan en buenas prácticas de ingeniería. El Responsable de Ingeniería asume la responsabilidad de la aplicación de esta especificación en una situación de diseño dada y la modificación de los requisitos para alcanzar el rendimiento deseado a un costo razonable sin correr un riesgo indebido.

El comité, por tanto, cree que un comentario es el medio más adecuado para ofrecer aclaraciones así como la interpretación apropiada de los muchos requisitos de la especificación. Por motivos obvios, el tamaño del comentario impone restricciones sobre el grado de tratamiento en un requisito dado.

Este comentario no pretende proporcionar un fondo histórico del desarrollo de esta especificación, ni tiene la intención de proporcionar un resumen detallado de los estudios y los datos de investigación examinados por el comité en la formulación de las disposiciones de esta especificación.

Esta especificación no trata la selección de los materiales o el dimensionamiento de las juntas de soldadura. Se supone que tales consideraciones se tratan en otra parte, es decir, en la declaración de trabajo, manuales de diseño corporativo, etc.

El comité se ha esforzado por elaborar un documento útil adecuado en el lenguaje, la forma y el tratamiento de las soldaduras para la industria aeroespacial y aeronáutica. La especificación proporciona un medio para el establecimiento de normas de soldadura para su uso en el diseño y la construcción por parte del cliente o del Responsable de Ingeniería. La especificación también incluye disposiciones para la reglamentación de la soldadura que son necesarias para la seguridad pública.

El comité recomienda que el cliente o el Responsable de Ingeniería se guíen por este comentario en la aplicación de la especificación a la estructura soldada. El comentario no pretende complementar los requisitos del código, solo desea proporcionar un documento útil para la interpretación y aplicación de la especificación, ninguna de sus disposiciones son vinculantes.

La intención del Comité sobre soldaduras para las industrias aeronáutica y aeroespacial es la de revisar el comentario de forma periódica para que los comentarios acerca de los cambios en la especificación puedan ser inmediatamente entregados al usuario. De esta manera, el comentario estará siempre actualizado con la edición de la especificación para la soldadura por fusión de estructuras aeroespaciales con la que está asociado.

Los cambios en el comentario serán indicados por una única línea vertical que aparece en el margen inmediatamente adyacente a los párrafos, tablas o figuras.

G1. Alcance y requisitos generales

G1.1 Alcance

Esta especificación establece los requisitos generales aplicables a estructuras aeroespaciales soldadas. Reemplaza a las normas MIL-STD-2219, *Fusion Welding for Aerospace Applications* (Soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales) y MIL-STD-1595 *Qualification of Aircraft Missile and Aerospace Fusion Welders* (Calificación de soldadores por fusión para misiles aeronáuticos y aeroespaciales), y está destinada a complementar toda especificación relacionada con el diseño y la construcción de estructuras aeroespaciales y de aeronaves. Cuando se utiliza esta especificación, los clientes y el Responsable de Ingeniería deben reconocer que no todas las disposiciones serán aplicables o adecuadas para su estructura particular.

Debido a la diversidad de la misión y los criterios de los sistemas para estructuras aeroespaciales, el comité de especificación permite la modificación de las disposiciones cuando lo considere necesario el Responsable de Ingeniería y cuando sea avalado por los datos de ingeniería. Toda modificación de las disposiciones de la especificación debería incluirse claramente como referencia en el acuerdo contractual entre el cliente y el Responsable de Ingeniería.

G1.1.1. En Estados Unidos, las estructuras de vuelo no militares, incluyendo los motores, que se utilizan para la aviación comercial y general están sujetas a los requisitos establecidos en el Código de Regulaciones Federales (CFR), Título 14. Las partes de la CFR más directamente aplicables a la norma D17.1/D17.1M son las Partes 23, 25, 27, 29, 33 y 43.

G1.1.2 Los requisitos contractuales de la industria aeroespacial pueden no diferenciar entre la soldadura destinada a equipos de vuelo (motores, estructuras y sistemas de vuelo) y la soldadura destinada a las funciones de apoyo (sistemas no destinados al vuelo, herramental, equipos de apoyo en tierra e instalaciones no convencionales relacionadas). Por este motivo fue necesario crear la Sección 9.

G1.2 Clasificación. Las estructuras aeronáuticas y aeroespaciales se clasifican de acuerdo con los requisitos de integridad estructural, y las soldaduras en estas estructuras comúnmente están sujetas a las mismas clasificaciones. Sin embargo, cuando el análisis del diseño puede demostrar que la soldadura o las soldaduras, o una parte de la soldadura o de las soldaduras de la estructura no está o no están, sujetas a los mismos requisitos de la integridad estructural, o de las cargas como el resto de la estructura, estas soldaduras pueden contar con diferentes clasificaciones.

La norma MIL-STD-2219 (diciembre de 1988) proporcionó la siguiente aclaración no obligatoria para el uso de las clasificaciones de soldadura A, B y C:

Clase A: aplicaciones críticas. Soldaduras en las que una única falla podría causar la pérdida del sistema, pérdida de componentes principales, pérdida de control, liberación no intencional de elementos críticos o incapacidad para liberar armamento o poner en peligro al personal.

Clase B: aplicación semicrítica. Soldaduras en las que una falla reduciría la eficiencia general del sistema e impediría la función prevista o el uso de los equipos pero que no provocaría la pérdida del sistema ni pondría en peligro al personal.

Clase C: aplicación no crítica. Soldaduras en las que una falla no afectaría la eficiencia del sistema ni pondría en peligro al personal.

En general, gran parte de la información sobre el diseño de soldaduras de las Clases A y B utilizadas en la industria aeronáutica y aeroespacial está extraída de los análisis estadísticos de los datos resultantes de las soldaduras de prueba y de los estudios de efectos y defectos. El alcance de las pruebas puede no ser uniforme para las combinaciones material/metall de aporte en relación a las combinaciones material/metall o entre calibres de láminas. Las bases de datos iniciales de la industria, generadas en las décadas de 1950 y 1960, establecieron normas de aceptación que se relacionaron con las normas de la mano de obra y no reflejaban las características de tenacidad a la fractura de las diferentes combinaciones material/metall de aporte. En consecuencia, puede haber un cierto criterio conservador en la aplicación de

las normas de aceptación para soldaduras en determinados materiales, mientras que en otros las normas pueden ser demasiado liberales. Al escoger la clasificación de soldadura apropiada y el grado de inspección, el Responsable de Ingeniería debe considerar no solo los requisitos de la integridad estructural sino también la capacidad de inspección, reparación o reemplazo durante la vida útil de las estructuras.

Esta especificación reconoce que existen otros factores que pueden entrar en juego en la selección de las clasificaciones de soldadura y, por lo tanto, utiliza las clasificaciones de la soldadura para identificar el nivel de inspección y los criterios de aceptación. El motivo para este enfoque es que dos soldaduras idénticas pueden estar expuestas a entornos diferentes, tener diferentes grados de accesibilidad para la inspección de mantenimiento durante su vida de diseño, y estar sujetas a diferentes condiciones de carga (es decir, estáticas o dinámicas). El Responsable de Ingeniería es el encargado de establecer una clasificación de soldadura que no solo sea rentable sino que además garantice la integridad estructural del conjunto soldado para cualquier aplicación dada.

Un análisis de diseño detallado de la estructura que muestre que la carga o la criticidad de la soldadura varía a lo largo de su longitud permitirá zonificar la soldadura y aplicar diferentes requisitos de inspección y diferentes normas de aceptación para cada zona.

G2. Diseño de conexiones soldadas

G2.1 Alcance. La capacidad de una soldadura para conseguir su propósito o misión comienza con el proceso de diseño. Ni la pericia en la fabricación ni las inspecciones pueden compensar un diseño deficiente o inadecuado. El proceso de diseño, en gran medida, establecerá los costos de fabricación y de la vida útil del conjunto soldado. La selección y la ubicación de la junta de soldadura juegan un papel importante en la posibilidad que tendrá esa soldadura para ser fabricada e inspeccionada. Aparte de asegurar que la soldadura tendrá una integridad estructural adecuada, es imperativo que el proceso de diseño también considere las técnicas de fabricación y control necesarias para completar la soldadura. Es decir, la junta de soldadura deberá ser accesible tanto para ser soldada como para ser inspeccionada.

G2.2 Datos de diseño de conjuntos soldados. El primer paso en el proceso de diseño debe ser el de asegurar que haya datos suficientes que reflejen el rendimiento de la zona de soldadura al ser solicitada por la carga prevista. Esta zona de soldadura incluye el metal de soldadura y el metal base adyacente o zona afectada por el calor (HAZ). La junta de soldadura está formada por todos los componentes de la zona de la soldadura, no solo por el propio metal de soldadura. El rendimiento y la resistencia de la junta de soldadura se verán afectados por procesos posteriores como tratamiento térmico, conformado o martillado, para nombrar unos pocos. Además, se debe tener en cuenta que las discontinuidades de la soldadura son parte de un buen análisis de diseño. Es importante recordar que la soldadura por fusión es un proceso de moldeo in situ y que es posible encontrar discontinuidades en el metal de soldadura.

La presencia o ausencia de refuerzos de soldadura, o el uso de aumentos de sección en la soldadura, determina cuál es el área más crítica de la estructura: la soldadura, la HAZ o el metal base. Los refuerzos de sección en la junta de soldadura pueden ser utilizados donde la resistencia de la unión, u otras propiedades, son menores que las del metal de la estructura.

La contracción y la tensión residual resultante ocurren normalmente en la soldadura por fusión. La tensión residual presente afectará al rendimiento de la junta de soldadura. Bajo algunas condiciones de carga este efecto será perjudicial. Por lo expresado, puede ser necesario o bien reducir la tensión residual en la junta de soldadura con un tratamiento posterior o compensar sus efectos mediante la modificación del diseño de la junta de soldadura. En el caso de la contracción, la junta podría requerir una mayor sección con el agregado de material para que el conjunto soldado pueda satisfacer los requisitos dimensionales después de la soldadura.

G2.3 Requisitos generales de los planos

G2.3.1 Información en los planos. Los planos de ingeniería deben proporcionar información inequívoca y suficiente sobre los requisitos de tamaño, extensión, tipo, ubicación e inspección de las soldaduras para que el fabricante pueda producir las soldaduras. El plano de ingeniería suele ser el único mecanismo mediante el cual el Responsable de Ingeniería comunica los requisitos de los conjuntos soldados al constructor y al inspector. En algunos casos, los símbolos estándar de la norma AWS A2.4 no describen adecuadamente la soldadura requerida y las inspecciones, motivo por el cual el Responsable de Ingeniería debe agregar en el plano de ingeniería suficiente información, habitualmente detalles de soldadura, para asegurar razonablemente que el fabricante sepa qué tipo de soldadura debe producir y cómo será inspeccionada.

G2.3.2 Soldaduras de ranura. Las soldaduras de ranura de penetración completa son el requisito predefinido. Las soldaduras de ranura de penetración completa no tienen una discontinuidad incorporada en la unión como las soldaduras de penetración parcial, lo cual facilita el examen interno en busca de discontinuidades. El área efectiva de una soldadura de ranura y la resistencia del metal de soldadura indican la capacidad para soportar carga del metal de soldadura. Para el análisis de carga no se considera el refuerzo de soldadura en el cálculo del área efectiva de una soldadura de ranura pues su aporte a la capacidad de carga de la unión soldada será prácticamente nulo.

G2.3.3 Soldaduras de filete. Una práctica habitual en la industria de la soldadura es especificar el tamaño mínimo de la soldadura de filete como el máximo permitido por la especificación de fabricación correspondiente. Sin embargo, en los casos en que la soldadura presenta problemas de interferencia mecánica en un nivel de montaje superior, el plano debe establecer un tamaño máximo de soldadura, específico para el caso. El área efectiva de una soldadura de filete junto con la resistencia al cizallamiento del metal de aporte determinan la resistencia de la junta de filete. Algunos metales de aporte para soldadura de juntas de filete tienen valores de resistencia al cizallamiento diferentes en función de la dirección del esfuerzo de corte aplicado que se considere. Las direcciones principales de la fuerza de cizallamiento son paralelas o perpendiculares (longitudinal o transversal respectivamente) a la longitud de la soldadura de filete.

En esta especificación, la garganta efectiva se define como la menor distancia desde la raíz de la junta (la raíz de diseño) hasta la cara del triángulo representativo de la sección transversal de la soldadura de filete cuyo tamaño sea el mínimo permitido. Esta definición es consistente con la de la norma AWS D1.1/D1.1M pero difiere de la ofrecida por la norma AWS A3.0M/A3.0. Este cálculo de la garganta mínima efectiva requiere de una gran cantidad de metal de soldadura adicional. Debido a que la sección transversal de las soldaduras de filete es triangular (a menudo un triángulo rectángulo) el aumento de la garganta efectiva requiere una gran cantidad de metal de soldadura adicional. Por ejemplo, en una soldadura de filete a 90 grados con catetos iguales y sin abertura de raíz, un aumento del tamaño del cateto de la soldadura de 1/8 a 3/16 pulg. [3,2 a 4,8 mm] aumentará 1,5 veces la garganta efectiva, mientras que el volumen de metal de soldadura aumentará 2,5 veces.

G2.3.4 Información esencial. Las ocho categorías enumeradas proporcionan la información mínima que deberían contener los planos, suficiente para la mayoría de las situaciones. El Responsable de Ingeniería es el encargado de agregar requisitos adicionales a la documentación de ingeniería si fuese necesario. Si la documentación trata todos los aspectos esenciales del trabajo pero no ofrece información suficiente e inequívoca acerca de los requisitos de fabricación e inspección, el Responsable de Ingeniería habrá fallado en su trabajo.

G2.3.5 Requisitos de la inspección. Es importante establecer tanto las inspecciones como los criterios de aceptación adecuados para cada junta de soldadura o porciones separadas de la junta de soldadura, en base a las condiciones de carga en servicio. Las clasificaciones A, B y C de las juntas de soldadura proveen niveles de inspección y criterios de aceptación generalmente adecuados. El Responsable de Ingeniería puede modificar la inspección y los criterios de aceptación de cada soldadura para adaptarse mejor a la aplicación y las condiciones de carga.

La aplicación textual de las inspecciones y los criterios de aceptación incluidos en las normas a un conjunto soldado conlleva la posibilidad de que algunas inspecciones de soldadura sean insuficientes mientras que otras serán excesivas. También se debe tener en cuenta la factibilidad de cumplir con el criterio de aceptación escogido. La selección de un criterio de aceptación que exceda las posibilidades del proceso de soldadura puede provocar numerosos rechazos durante la inspección y aumentar los costos. La configuración de la junta de soldadura también debe permitir la ejecución de las inspecciones adecuadas. Cada técnica de inspección tiene sus propios requisitos para el acceso a la junta de soldadura y limitaciones para la detección. Si el criterio de aceptación excede la capacidad de detección del proceso o los procesos de inspección, es probable que haya que volver a evaluar los diseños y el proceso o los procesos de inspección seleccionados.

G3. Calificación del rendimiento y el procedimiento de soldadura

La finalidad fundamental de la sección de calificación del rendimiento y el procedimiento de soldadura de esta especificación es establecer los requisitos básicos aplicables a la mayoría de las situaciones. No obstante lo anterior, la sección deja amplitud suficiente para que el Responsable de Ingeniería emplee su mejor criterio si fuese necesario. Estas disposiciones del comentario no son vinculantes.

G3.1 a G3.3 La elaboración de este documento se ha basado en las normas MIL-STD-1595A y MIL-STD-2219. Los cambios fueron realizados cuando así lo consideró oportuno el Subcomité D17K de soldadura por fusión para aplicaciones aeroespaciales.

G3.4 Calificación del procedimiento de soldadura (Procedimiento). Todas las soldaduras requieren un procedimiento escrito, para el cual se sugiere el uso del formato de AWS B2.1. Como se indica en el párrafo 5.4.2 de la norma D17.1/D17.1M:2010, “Los procedimientos para las soldaduras de las clases A y B deben ser calificados. En las soldaduras manuales no es necesario calificar los ajustes de la máquina de soldar a menos que lo determine el Responsable de Ingeniería. Las soldaduras de la clase C no requieren calificación del procedimiento.”

Este documento, como se estableció anteriormente, no ha renunciado a la necesidad de calificación de las soldaduras de las Clases A y B. Sin embargo, el requisito relacionado con el ajuste del equipo para las soldaduras manuales no es práctico. El soldador no puede ver las lecturas del amperímetro o el voltímetro, o estimar con precisión la velocidad de desplazamiento. Los requisitos de calificación o certificación del soldador de estructuras aeroespaciales y aeronáuticas suelen superar los requisitos de calificación para soldadura estructural. En consecuencia, el personal con más práctica y experiencia del Subcomité D17K ha abandonado el viejo paradigma de especificar los ajustes de los equipos de soldadura

en los trabajos manuales. En su reemplazo, se han definido y utilizado otros métodos para lograr y mantener el control necesario. Uno de estos métodos, utilizado con el proceso GTAW, se emplea para establecer el tamaño del electrodo de tungsteno, la geometría de la punta del electrodo y el gas de protección. Esto se traduce en un método más práctico y medible para controlar el amperaje en lugar de especificar un nivel de amperaje determinado. Por otra parte, un soldador certificado está capacitado para reconocer el comportamiento del charco de soldadura mediante la calificación de las variables esenciales de un procedimiento de soldadura por escrito, tales como: tipo de gas, corriente alterna o continua, polaridad, geometría de tungsteno, aleación del metal base (y tratamiento térmico), tipo y diámetro del metal de aporte, tamaño de la antorcha, tamaño de la copa, ángulo de avance/arrastre, montajes apropiados, gas de respaldo de la unión u otros tipos de respaldo, carros de protección de la soldadura, flujo de gas y los detalles más importantes para soldar satisfactoriamente un componente dado. La regla básica es, si el soldador puede controlar una variable de soldadura como las citadas en el párrafo anterior durante el proceso de soldadura (con la careta baja), esta variable deberá ser calificada en la especificación o la planificación del procedimiento de soldadura. Las variables de soldadura que no pueden ser controladas por el soldador con la careta baja no necesitan ser incluidas en el procedimiento de soldadura.

G4. Construcción

G4.1 Alcance. La finalidad fundamental de la Sección de construcción de esta especificación es establecer los requisitos básicos aplicables a la mayoría de las situaciones. No obstante lo anterior, la sección deja amplitud suficiente para emplear criterios de ingeniería si fuese necesario. Estas disposiciones del comentario no son vinculantes.

G4.2 Consumibles para soldadura. Debido a la criticidad de muchas de las soldaduras aeroespaciales, la identificación, el almacenamiento y el uso de todos los consumibles de soldadura (alambres, varillas, insertos, fundentes, gases, etc.) requieren controles apropiados. Por ello es importante almacenar los fundentes y los electrodos revestidos en un ambiente seco o en recipientes sellados. La adecuada identificación y almacenamiento de los consumibles contribuirá positivamente a la calidad del producto.

G4.3 Equipos de soldadura. Los equipos de soldadura requieren cierto mínimo de mantenimiento, incluso calibraciones periódicas, para evitar defectos de soldadura relacionados con ellos. Estas calibraciones se deben llevar a cabo cuando existen motivos para dudar de la capacidad de los equipos para producir soldaduras aceptables.

G4.4 Ajustes de soldadura. Durante la soldadura de producción se deben realizar ajustes en los equipos de soldadura mediante el empleo de una WPS calificada. En el caso de las soldaduras manuales, esta WPS calificada puede contener o no ajustes de soldadura. Después de una reparación importante del equipo de soldadura, es primordial preparar y llevar a cabo pruebas para verificar la reproducibilidad de las soldaduras de prueba y asegurar el funcionamiento adecuado del equipo. Las pruebas de reproducibilidad de la soldadura también se deben utilizar para detectar y solucionar problemas de calidad recurrentes en el taller de soldadura.

G4.5 Limpieza y otros preparativos previos a la soldadura. Las superficies de la junta se deben limpiar (por medios químicos y/o mecánicos) correctamente antes de la soldadura y, a continuación, se deben proteger de la contaminación. Este procedimiento de preparación debe ser documentado y cumplido sistemáticamente.

G4.6 Preparación y ajustes de la junta previos a la soldadura. Los preparativos adecuados de la junta y el cumplimiento de los requisitos del ajuste de la holgura entre sus miembros reducirán o eliminarán los problemas relacionados con la penetración, la distorsión y el desajuste de la soldadura.

G4.7 Control de las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas. Si bien la Tabla 6.3 proporciona las temperaturas recomendadas de precalentamiento y entre pasadas para ciertos materiales, el constructor es el responsable de establecer estas temperaturas. El constructor debe, como mínimo, tener en cuenta la composición química del material, sus propiedades metalúrgicas y los requisitos de integridad de la pieza durante la determinación de los controles de las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas. Las temperatura de precalentamiento y entre pasadas indicadas en la WPS calificada deben ser utilizadas y mantenidas durante la soldadura de producción.

G4.8 Soldaduras de punteado. Las variables esenciales, incluido el material de aporte, se deben especificar en la WPS. La experiencia ha demostrado la necesidad de que las soldaduras de punteado queden incorporadas en la pasada de soldadura subsiguiente o bien que sean eliminadas antes de la siguiente pasada de soldadura.

G4.9 Lengüetas de inicio y terminación de la soldadura. El material de la lengüeta debe ser el indicado en la WPS. El material de la lengüeta debe ser igual al metal base que está siendo soldado. Las lengüetas de inicio y terminación solo se pueden utilizar si resultan beneficiosas para el proceso de soldadura.

G4.10 Protección de la soldadura en los procesos GTAW, GMAW y PAW La soldadura y la zona afectada por el calor debe estar protegida durante el proceso de soldadura para evitar defectos causados por la oxidación. Los metales base reactivos, como el titanio y sus aleaciones, requieren una atención especial en la protección. En estos materiales también se debe proteger el metal de soldadura depositado y solidificado inmediatamente detrás y hasta cierta distancia

por detrás del charco de soldadura en progreso con la finalidad de impedir la contaminación. Los consumibles como gases de protección, fundentes, etc. siempre debe ser los indicados en la WPS.

G4.11 Electrodo de tungsteno. La norma AWS A5.12, *Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting* (Especificación para electrodos de tungsteno o de tungsteno aleado para soldadura y corte por arco), es la norma industrial para los electrodos de tungsteno utilizados en los procesos GTAW y PAW.

G4.12 Materiales de aporte. Si el proceso de soldadura utiliza materiales de aporte, éstos deben cumplir con los requisitos indicados por el Responsable de Ingeniería. Las tablas 6.4, 6.5 y 6.6 presentan los materiales de aporte utilizados normalmente en los materiales base de las soldaduras aeroespaciales. El constructor deberá utilizar las tablas indicadas solo como guía para la selección del material de aporte, a menos que el Responsable de Ingeniería autorice el uso de ellas. El constructor es responsable de verificar la aplicación correcta de cualquier material de aporte a través del ciclo WPS/PQR.

G4.13 Limpieza entre pasadas. La limpieza entre pasadas de soldadura es importante para obtener soldaduras de calidad aceptable pues eliminará los contaminantes, como óxidos y escorias, depositados sobre el cordón de soldadura o la superficie de la junta durante la pasada de soldadura anterior. La limpieza entre pasadas se debe realizar mediante el empleo de métodos mecánicos. La limpieza con productos químicos o soluciones líquidas puede dejar residuos atrapados en las hendiduras que pueden contribuir a la mala calidad de la soldadura y generar corrosión durante el servicio. La limpieza de conjuntos soldados de titanio no está permitida sino hasta después de una inspección visual y la aceptación del estado de decoloración de la superficie. Este requisito es importante para prevenir la falla prematura de las soldaduras de titanio en servicio.

G4.14 Soldadura y conjuntos soldados. La soldadura debe comenzar únicamente después de haber verificado que los ajustes de los equipos de soldadura son los indicados en la WPS.

Las marcas del cebado del arco (golpes de arco) fuera de la junta de soldadura suelen ser perjudiciales para la vida útil de un conjunto soldado y, por tanto, son causa de rechazo.

Todas las correcciones durante el proceso se deben realizar después de la limpieza de la zona a corregir. Cuando se sueldan ciertos materiales sometidos a un tratamiento térmico previo, como la aleación 6061-T6, es importante controlar y documentar el procedimiento de corrección durante el proceso. El constructor es responsable de buscar en el plano de ingeniería y otros documentos del contrato si existen limitaciones para la corrección durante el proceso. Solo se permite una corrección durante el proceso en un mismo lugar. La cantidad de intentos de corrección durante el proceso puede ser aumentada e incorporada en la WPS siempre que haya sido debidamente probada durante el establecimiento de una WPS calificada. El constructor debe pedir la opinión del Responsable de Ingeniería acerca de la corrección durante el proceso.

Las soldaduras realizadas con un proceso automático, mecanizado, robótico o sin el uso de material de aporte, no se deben corregir durante el proceso mediante el uso de un proceso que requiera un material de aporte. Esas soldaduras deben ser corregidas durante el proceso como lo indique el plano de ingeniería u otro documento del contrato. La WPS y el proceso de calificación PQR deben incluir una metodología de corrección durante el proceso, así como también la cantidad de intentos permitidos de corrección durante el proceso en la misma ubicación.

El refuerzo de soldadura no debe ser eliminado a menos que lo requiera el plano. Cualquier método de eliminación de soldadura no deberá diluir el metal base ni reducir la altura del refuerzo por debajo del metal base adyacente. A menos que el Responsable de Ingeniería especifique lo contrario, el refuerzo de soldadura nunca debe ser retirado por completo por ningún motivo.

La Figura 7.2 indica el desajuste máximo en la junta de soldadura terminada. Un desajuste excesivo puede reducir drásticamente la capacidad de carga de una junta de soldadura.

La distorsión angular y el curvamiento deben estar comprendidos dentro de cinco grados mediante la aplicación de la secuenciación y los accesorios de la soldadura.

G4.15 Limpieza posterior a la soldadura. Las operaciones de limpieza posteriores a la soldadura no deberán reducir el tamaño de la soldadura ni el espesor del metal base por debajo de los requisitos indicados en el plano de ingeniería. Los conjuntos soldados de titanio deben ser inspeccionados visualmente antes de cualquier operación de limpieza posterior a la soldadura.

G4.16 Procesamiento posterior a la soldadura. Todo procesamiento posterior a la soldadura debe estar especificado en el plano de ingeniería o en la WPS. Esta operación puede ser realizada antes o después de cualquier inspección de aceptación. El constructor será responsable de asegurar que la corrección durante el proceso se produzca antes de esta operación.

G4.17 Requisitos de identificación de soldaduras. Todas las soldaduras deberán tener trazabilidad hasta su soldador. Una soldadura estructuralmente crítica, definida como tal por el Responsable de ingeniería, requiere que la trazabilidad y el historial de procesamiento estén documentados y conservados durante toda la vida del producto. El constructor es responsable de mantener toda la documentación de la trazabilidad y el procesamiento por un período determinado por el Responsable de Ingeniería o un documento contractual.

G4.18 Inspección de aceptación. El constructor es responsable de asegurar la presentación de la pieza soldada al departamento de inspección apropiado o a su representante para que realice la inspección de aceptación de acuerdo a la Sección 7. Esta inspección puede ser realizada por un organismo de inspección diferente al del fabricante. Sin embargo, esto requerirá que el constructor se asegure de que la instalación del organismo de inspección y su personal estén debidamente calificados para llevar a cabo la inspección.

G4.19 Reelaboración. Se denomina reelaboración a toda acción correctiva realizada en una soldadura en condición como de recién soldada (sin ningún procesamiento posterior a la soldadura, excepto el proceso de inspección) para que conforme en su totalidad al plano de ingeniería y las especificaciones después de una inspección de aceptación. Todas las operaciones que intervienen en el trabajo de reelaboración requieren documentación. Las tareas de reelaboración se deben realizar de acuerdo a las directrices establecidas por el Responsable de Ingeniería. La WPS y el proceso de calificación PQR deben incluir una metodología de reelaboración, así como también la cantidad de intentos de reelaboración permitidos en una pieza.

G4.20 Reparación. Esta actividad se lleva a cabo en la pieza rechazada de acuerdo a lo dispuesto por el Responsable de Ingeniería para una reparación. Por lo general, el Responsable de Ingeniería dispone la reparación de una pieza rechazada cuando considera posible corregir la pieza y lograr que la soldadura o la pieza cumpla con los requisitos de aceptación, integridad y/o funcionales especificados. Todas las operaciones que intervienen en este trabajo son parte de las disposiciones del Responsable de Ingeniería. El constructor y el soldador deben seguir las instrucciones y directrices suministradas.

Algunos ejemplos de la disposición para reparar una pieza rechazada incluyen, pero no están limitados a:

- (a) soldadura desde el lado de la raíz para corregir la penetración incompleta,
- (b) soldadura en una pieza con tratamiento térmico,
- (c) soldadura adicional en la pieza para devolverle sus dimensiones o la configuración requerida por el plano,
- (d) soldadura para corregir una muesca o melladura accidental,
- (e) soldadura hecha con un metal de aporte distinto al especificado por el Responsable de Ingeniería

G4.21 Requisitos del registro. Todos los constructores, como mínimo, deben preparar y conservar registros de los consumibles, la calibración de los equipos, las correcciones durante el proceso (según sea necesario) y los procedimientos calificados de soldadura e información sobre las pruebas relacionadas con ellos, las inspecciones y sus resultados, los trabajos de reelaboración y de reparación. El registro se debe conservar durante un período mínimo determinado por el Responsable de ingeniería o un documento contractual.

G5. Inspección

G5.1 Inspección con líquido penetrante (PT). De acuerdo con los requisitos de la norma ASTM E 1417, solo se autoriza el uso de líquidos penetrantes fluorescentes Tipo I en aplicaciones aeroespaciales. La norma ASTM E 1417 no hace mención alguna que impida el uso de cualquiera de los cuatro métodos básicos de tinte penetrante; sin embargo, el Departamento de Defensa de los EE. UU., en su Manual TO 33-B1.1 sobre ensayos no destructivos, restringe el uso de sistemas penetrantes del método A, lavable con agua, a menos que hayan sido autorizados por el Responsable de Ingeniería.

G5.2 Inspección con partículas magnéticas. La norma ASTM E 1444 no hace mención alguna que impida el uso de métodos no fluorescentes o de polvo seco para la inspección con partículas magnéticas en sistemas aeroespaciales; sin embargo, el Departamento de Defensa de los EE. UU., en su Manual TO 33-B1.1 sobre ensayos no destructivos, restringe el uso de vehículos de inspección tanto de polvo seco como no fluorescentes en sistemas de aeronaves del Departamento de Defensa de los EE. UU., a menos que hayan sido autorizados por el Responsable de Ingeniería.

G5.3 Ensayo de la prueba (PRT). El ensayo de la prueba es polémico. En el pasado, el ensayo de la prueba fue utilizado en recipientes y componentes mecánicos, y consistía en aplicar a la pieza una carga de entre el 50 y el 100 % mayor que la carga de diseño. Se creía que si la pieza superaba esta prueba, y si nunca era cargada por encima de su carga de diseño, la pieza nunca fallaría en servicio. Ahora se piensa que el ensayo de la prueba puede causar daños internos que podrían reducir la vida de servicio. Además, el ensayo de la prueba no puede ofrecer garantías si la pieza estará sometida a corrosión, fatiga, impacto a baja temperatura y otras exigencias durante su vida en servicio. Tenga en cuenta el ensayo de la prueba, pero solo a la luz de lo anterior pues su uso está en descenso.

G6. Reparación de estructuras existentes

G6.1 Alcance. El objetivo que persigue la Sección que trata las soldaduras de reparación es establecer un enfoque coherente entre los sistemas de soldadura de reparación con los componentes de vuelo. Esto incluirá todas las estructuras primarias y secundarias, y las reparaciones de los componentes. Este enfoque de los sistemas seguirá el formato general de la sección

principal y las subsecciones de la norma D17.1/D17.1M para la aplicación de una soldadura de reparación. Todos los días se realizan soldaduras de reparación de componentes en servicio en las estaciones de reparación u otras instalaciones aprobadas por la FAA, y esta sección de la especificación de soldadura puede o no ser aplicada a dichas reparaciones. La decisión de aplicar esta sección la tiene el Responsable de Ingeniería y la agencia reguladora gubernamental, según lo permitido por el Código de Regulaciones Federales (Título 14, Partes 43 y 145). La autoridad final para todas las aprobaciones de los procedimientos de soldadura de reparación reside únicamente en la agencia reguladora gubernamental.

Lo que distingue al procedimiento de soldadura de reparación de la sección 8 y los procedimientos de soldadura aprobados previamente para otras reparaciones es la *aplicación* de la soldadura. En resumen, esto se puede definir como: *Cuando la soldadura de reparación se convierte en una parte integral del mantenimiento de los componentes de vuelo, donde la falla de la soldadura se traduce en la falla del componente o del componente de vuelo, se aplicará la Sección 7.*

Por lo general, un manual de reacondicionamiento aprobado por la agencia reguladora gubernamental contiene los procedimientos establecidos de soldadura de reparación, reconocidos y aprobados por la FAA para su empleo en las estaciones de reparación o fabricantes de equipo original (OEM) según lo permitido; estos procedimientos sin calificación o recalificación adicional son los utilizados para soldaduras de reparación comunes o genéricas. Esta distinción está limitada a las reparaciones por soldadura a componentes de vuelo en estructuras cuya capacidad para ser soldadas es limitada o insatisfactoria, como las construidas con la aleación de aluminio 7075-T73. A medida que la corrosión y la fatiga comienzan a afectar el metal base en áreas críticas, el Responsable de Ingeniería tendrá que investigar y desarrollar medios económicos para efectuar reparaciones soldadas. Esto impulsará a la industria de la soldadura a desarrollar nuevos usos para las tecnologías actuales y futuras.

G6.2 Diseño Los análisis de diseño y esfuerzo realizados para satisfacer los requisitos de la especificación podrían variar desde la evaluación de ingeniería cualitativa de la carga hasta un detallado análisis mediante elementos finitos de la zona reparada.

G6.3 Procedimientos de soldadura. En un principio, la mayoría de los procedimientos de soldadura pueden no haber sido adecuadamente calificados o documentados. Cuando las soldaduras pasaron a ser un método integral de fabricación, la necesidad y los requisitos para desarrollar y documentar el procedimiento de soldadura se convirtió en un aspecto importante de las soldaduras de reparación.

Esta sección de la especificación prohíbe la aplicación de soldaduras de reparación a menos que se hayan realizado pruebas suficientes. El ensayo del procedimiento de soldadura de reparación se debe emplear de manera correcta en la aplicación específica. En él se incluyen los procedimientos de soldadura de reparación que pueden haber sido previamente calificados para otra aplicación o combinación metal base/metal de soldadura. Si existen datos suficientes que avalen una aplicación similar, el Responsable de ingeniería podrá aprobar el procedimiento de soldadura de reparación para otros usos.

La aplicación real del procedimiento de soldadura de reparación debe ser el factor de control cuando se utilizan procedimientos de soldadura previamente calificados.

G6.4 Calificación de soldadores y operarios de soldadura. Un soldador se certifica mediante un procedimiento de soldadura calificado. Un procedimiento de soldadura calificado habilita a un soldador certificado a utilizarlo en aplicaciones como aquellas para las cuales el procedimiento fue calificado. En consecuencia, cuando la autoridad gubernamental competente desarrolla y aprueba un procedimiento de soldadura “especial”, solo los soldadores que han demostrado su competencia con el procedimiento de soldadura “especial” pueden ser autorizados a realizar la soldadura de reparación. Este enfoque es coherente con otras industrias de la soldadura y demuestra la importancia del procedimiento “especial” de soldadura. Cuando se desarrolla un procedimiento de soldadura de reparación en piezas que no son, o no solían ser, reparadas mediante soldadura, puede haber habido técnicas desarrolladas para utilizar satisfactoriamente el procedimiento de soldadura de reparación. Estas técnicas, no establecidas o registradas en su origen, se convierten en elementos o atributos esenciales y pueden requerir que soldadores debidamente calificados y capacitados estén utilizando el procedimiento de soldadura de reparación. Es probable que la mayoría de los soldadores a los que se les puede asignar tal reparación sean capaces de aplicar las técnicas desarrolladas para tal fin. Sin embargo, los procedimientos de soldadura de reparación que requieren técnicas o habilidades para las cuales se dispone de un número limitado de soldadores capaces de realizarlas, deberán emplear únicamente soldadores debidamente calificados y entrenados.

G6.5 Inspección de soldaduras de reparación. En la mayoría de los casos, los métodos de inspección actualmente especificados son los adecuados para las soldaduras de reparación. Cuando normalmente no se emplea un método de inspección en un cierto elemento debido a sus limitaciones, el Responsable de Ingeniería puede autorizar métodos alternativos de inspección si el actual no es suficiente. En este caso se requiere la aprobación de la agencia gubernamental correspondiente. Cada soldadura de reparación en zonas que normalmente no son inspeccionadas debe tener una adecuada supervisión de ingeniería para determinar la idoneidad de la inspección de la reparación.

G6.7 Documentación de la reparación. Es muy probable que surjan situaciones en las que haya que utilizar soldadura para reparar componentes que normalmente no están soldados. En estos casos, la necesidad de documentar la ubicación de la soldadura de reparación es crítica para realizar el seguimiento y la supervisión de la reparación en caso de falla. Las soldaduras de reparación realizadas de acuerdo a esta sección tienen aspectos de responsabilidad inherentes y la documentación de la reparación es importante para proporcionar un registro a largo plazo de las variables de soldadura sugeridas, incluidas en esta Sección. Las variables enumeradas no incluyen todo y pueden ser modificadas mediante el agregado o la eliminación de algunas de las variables de soldadura en función del desarrollo del procedimiento de soldadura. La documentación proveerá información útil de acuerdo al grado en que haya sido utilizada la soldadura de reparación y siempre que toda acción correctiva realizada haya sido correctamente documentada.

G7. Componentes no destinados a ser utilizados en vuelo

Esta especificación reconoce las diferencias fundamentales entre la soldadura de estructuras destinadas al vuelo y las que no lo son (que a menudo se pasan por alto en los contratos), y permite que sus requisitos exclusivos estén incluidos en una única especificación maestra.

G7.1 Alcance. Los componentes aeroespaciales habituales considerados aquí apoyan las operaciones de fabricación, transporte, recepción, manejo, montaje, inspección, prueba, comprobación y servicio de aeronaves, misiles y vehículos espaciales y su carga, y el lanzamiento de misiles pequeños o balísticos, vehículos espaciales y carga.

G7.2 Excepciones y requisitos adicionales. La finalidad de esta sección es establecer prácticas uniformes para el diseño, calificación, construcción e inspección de componentes no destinados al vuelo. Este objetivo se logra mediante la combinación de los requisitos de los códigos de soldadura de consenso industrial con requisitos adicionales según sea necesario. Se han agregado requisitos complementarios en los párrafos donde el código industrial pertinente no contenía exigencias o donde éstas eran insuficientes para las aplicaciones aeroespaciales. Este enfoque es compatible con el uso previsto de los códigos indicados que normalmente establecen requisitos mínimos. Por ejemplo, aún cuando la norma AWS D1.1/D1.1M, *Código de soldadura estructural: acero*, contiene requisitos para los métodos NDE y los criterios de aceptación, estos ensayos no destructivos no se solicitan a menos que el contrato lo especifique (una exigencia de este tipo sería independiente de las generalidades de la norma AWS D1.1/D1.1M y debería contener detalles sobre los métodos deseados y el alcance del examen). Un apéndice normativo de la norma AWS D1.1/D1.1M contiene ejemplos acerca de cómo escribir una especificación que incluya algunas de las disposiciones opcionales de ese código. La norma ASME B31.3, *Code for Pressure Piping — Process Piping* (Código para tuberías a presión — Tuberías de proceso), establece que “*El propietario es también responsable de imponer exigencias complementarias a las del código si son necesarias para alcanzar mayor seguridad en la tubería para la instalación propuesta.*” Algunos ejemplos adicionales de los requisitos complementarios son los siguientes:

- (1) requisitos de los datos para los planos de ingeniería;
- (2) requisitos para las certificaciones de los materiales;
- (3) requisitos para la soldadura estructural con aleaciones estructurales no tradicionales;
- (4) disposiciones para la verificación de la WPS y las calificaciones del soldador;
- (5) técnicas de construcción — incluye los requisitos del precalentamiento y el calentamiento posterior a la soldadura;
- (6) requisitos de la inspección visual y los NDE (incluye la calificación del personal, métodos, alcance y los criterios de aceptación).

Se excluyen de los requisitos de la Sección 9 los recipientes a presión para aplicaciones no destinadas al vuelo que deben ser contruidos de acuerdo con el *Boiler and Pressure Vessel Code* (Código para calderas y recipientes a presión) (BPVC) de ASME. No se agregan exigencias complementarias al código BPVC de ASME debido a que este código vincula directamente los factores de diseño de la soldadura (por ejemplo, las eficacias y los esfuerzos permisibles de la junta) para el tipo y alcance de los ensayos NDE realizados, y también establece exigencias mayores para temas tales como las categorías de soldadura, tipos de soldadura, restricciones al servicio y detalles de construcción, donde estos últimos también incluyen los requisitos detallados para el tratamiento térmico posterior a la soldadura). Por otra parte, el código BPVC de ASME establece que el criterio de ingeniería empleado en su aplicación “... nunca debe ser utilizado para invalidar los requisitos obligatorios o disposiciones específicas del Código.”

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.

Copyright American Welding Society
Provided by IHS under license with AWS
No reproduction or networking permitted without license from IHS