

Capítulo 7

FABRICACIÓN POR SOLDADURA Y TÉCNICAS NDT (NO DESTRUCTIVAS)

Hay muchas fuentes documentales que proporcionan detalles, incluyendo requisitos de soldadura, para la construcción de calderas, recipientes a presión y vasijas nucleares. Cada sección del Código tiene un capítulo sobre requisitos de soldadura. Por ejemplo, la Sección I, Calderas de potencia, tiene la parte PW titulada «calderas soldadas», que proporciona algunos requisitos para juntas soldadas y pruebas no destructivas que deben aplicarse como seguro de calidad de que una soldadura consistente ha sido realizada sobre un material en consideración. Otros documentos que pertenecen al material de este capítulo comprenden:

- Sección V, código ASME, Examen no destructivo, que proporciona detalles y requerimientos para los diferentes métodos no destructivos (NDT).
- Sección IX, Soldadura y calificaciones de refuerzos para soldadores, operadores y procedimientos de soldadura.
- ASNT's SNT-TC-1A, Práctica recomendada para cualificación y certificación de personal NDT. Esto proporciona detalles sobre calificación de los tres niveles de clasificación reconocidos por esta vía.

La sociedad americana para ensayos no destructivos, ASNT, ha publicado ahora otro nuevo documento para complementar la guía maestra SNT-TC-1A mediante una norma de cumplimiento absoluto, y no una guía, llamada ANSI/ASNT CP-189-1991 y titulada «norma para calificación y participación del personal de pruebas no destructivas». Esto exige certificado de técnicas NDT al personal para la normativa reconocida.

Conexiones roscadas y expandidas. El Código permite conexiones roscadas para la utilización en uniones de piezas de caldera, pero están limitadas a diámetros de tubo de 3" (75 mm), y no pueden utilizarse para presiones de más de 100 psi (7 kg/cm²). Las uniones por expansión son usadas en tuberías, pero no pueden exceder de 6" (150 mm) de diámetro exterior.

UNIONES POR SOLDADURA

La soldadura es el método clave empleado en la fabricación de calderas y recipientes a presión. Los materiales utilizados en la construcción de calderas de potencia y piezas sometidas a presión deben limitarse en aquella sección como material admisible y con la especificación correspondiente como se lista en la Sección II del Código. El acero al carbono o aleado teniendo un contenido de carbono de más del 0,35 por 100 no puede utilizarse en construcción soldada. La soldadura requiere ciertos procedimientos, y los operarios y soldadores deben estar cualificados en orden a poder cumplir la normativa de soldadura. La NB (National Board) de inspectores exige también que la soldadura esté calificada según el Código siempre que se realicen reparaciones sobre piezas a presión. Los contratistas o reparadores pueden obtener un sello «R» de la NB si sus organizaciones pueden demostrar el cumplimiento de los requisitos de reparación NB.

El personal de operación de calderas de mantenimiento y de inspección debería tener conocimiento de trabajo del código de soldadura, porque éste se ha convertido en requisito legal en muchas jurisdicciones que han adoptado los requisitos del código ASME o normas NB para reparaciones permitidas.

Métodos de soldadura. La soldadura se define como una unión por coalescencia localizada (fusión conjunta) o consolidación del metal donde se realiza una unión por calentamiento a temperatura de fusión, con o sin la aplicación de presión, y con o sin la utilización de material de relleno. El material de relleno, cuando se usa, debe tener propiedades próximas a las del metal de base, incluyendo el punto de fusión. La soldadura es aquella parte que ha sido fundida junta durante el proceso de soldadura. La junta soldada es la unión de dos o más metales producida por el proceso de soldadura. Refuerzo soldado es metal soldado en exceso sobre el estrictamente necesario para rellenar una junta y para soldar a tope la rotura o surco acanalado. Es el metal de soldadura depositada más allá de la base nivelada o superficie metálica de base lo que se considera refuerzo.

El refuerzo de soldadura está permitido por la Sección I como ayuda para tener una penetración completa de junta de los metales que están siendo soldados. Sin embargo, el Código limita la altura del proceso, dependiendo del espesor de la chapa. Por ejemplo, para un rango de espesor de chapa de 2" a 3" (50 a 75 mm), el máximo refuerzo es de alrededor de 1/4" (6,25 mm). El Código también exige que las superficies a soldar estén libres de estrías gruesas, surcos, solapes, lomos y valles o hendiduras para evitar la concentración de tensiones. La superficie de la soldadura deberá también ser correcta y adecuada para que pueda hacerse una buena interpretación de las pruebas radiográficas y otros tests NDT que puedan ser realizados. El amolado del exceso de refuerzo de soldadura se aplica normalmente cuando las interpretaciones de las técnicas NDT a la junta puedan presentar dificultades. Los anillos traseros si se usan sobre una junta o unión longitudinal de un tubo, virola o calderín, deben retirarse.

Los anillos traseros de una junta circunferencial pueden no tener que retirarse si se cumplen y no se exceden ciertos tamaños normalizados, y siempre y cuando no se requiera un examen radiográfico de la junta.

El método más común de soldadura de piezas a presión es por fusión del metal, siendo suministrado el calor por uno de los distintos métodos. La soldadura al arco, soldadura por gas y soldadura con termita están clasificadas como soldaduras de fusión, pero la soldadura al arco eléctrico es la más corriente.

La soldadura de arco es una fusión localizada y progresiva de los bordes unidos y presentados juntos para que fluya dicha soldadura sobre las partes metálicas base, y causada por el calor producido por un arco eléctrico entre un electrodo metálico o varilla y el metal de base. Ambos, el material soldadura (electrodo o varilla de soldar) y el metal adyacente de base, son fundidos por el arco. Al enfriar, se solidifican, uniendo así las dos piezas con un material continuo.

En la *soldadura metálica de arco*, las varillas de soldadura pueden ser de dos tipos: electrodos desnudos y electrodos revestidos. La soldadura de arco en tramo liso o llano utiliza electrodos desnudos. La soldadura de arco con escudo o protección utiliza electrodos revestidos. La razón es que el flujo o revestimiento sobre el electrodo protege al metal depositado de la oxidación (Fig. 7.1a). Así, a medida que el electrodo funde, se obtiene una soldadura más fiable que con electrodos desnudos. La soldadura metálica de arco protegido se conoce previamente con el nombre de SMAW.

Los electrodos revestidos proporcionan un gas protector para proteger la soldadura de la contaminación de la atmósfera, como oxígeno, humedad y dióxido de carbono. Estos contaminantes pueden producir porosidad, formación de grietas y burbujas de óxido de la soldadura. El *gas protector* se utiliza en la soldadura de arco de gas al tungsteno, soldadura de arco con gases metálicos y procesos similares que emplean electrodos desnudos de material de relleno. El *gas de purga* se utiliza para reemplazar el aire no deseado y otros vapores contaminantes y proteger la raíz de la soldadura sustituyéndolos por un gas que proteja de la oxidación durante la soldadu-

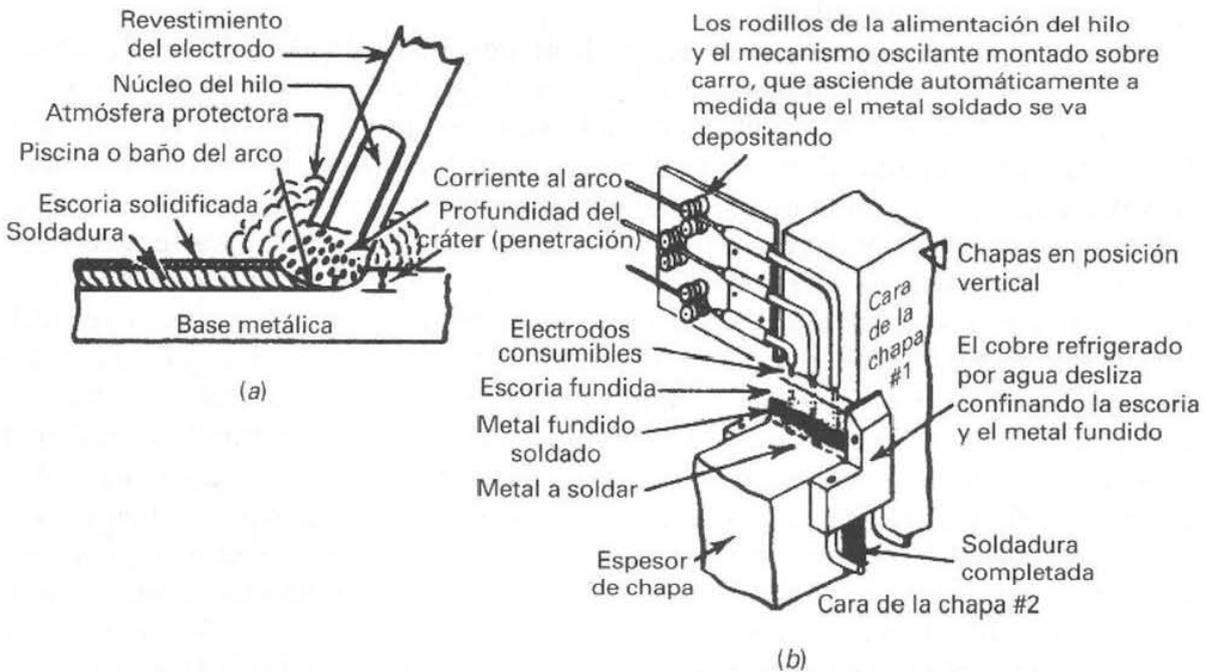


Figura 7.1. (a) Soldadura metálica de arco. (b) Elementos básicos de la electro-soldadura con escoria.

ra. Se utiliza el argón para hacer de escudo protector, así como el helio. Este sistema se recomienda cuando se suelda acero inoxidable, aleaciones de níquel y la mayoría de los metales no ferrosos.

En la *soldadura de arco sumergido*, la coalescencia (fusión conjunta) se produce por calentamiento con un arco o arcos eléctricos entre un electrodo de metal desnudo y el metal de trabajo. La soldadura está protegida por el flujo, que es una protección de material granular, fusible sobre el trabajo a soldar. No se utiliza presión y el material de relleno se obtiene del electrodo o a veces por una varilla suplementaria de soldadura.

En la *soldadura al arco de tungsteno*, la coalescencia se produce por calentamiento con un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el trabajo o base. La protección se obtiene de un gas o mezcla de gases (que puede contener un gas inerte). El metal de relleno normalmente se añade por separado del electrodo. Este proceso se llama también soldadura de tungsteno al gas inerte (TIG). Si no se utiliza metal de relleno, el proceso se denomina también soldadura autógena. Los electrodos de tungsteno se clasifican sobre la base de su composición química como: de tungsteno puro, electrodo de tungsteno zirconiado, electrodo de tungsteno al boro, y así sucesivamente. La AWS (sociedad americana de la soldadura) ha desarrollado un sistema de marcaje y numeración para los diferentes tipos, desde EWP a EWG, incluyendo colores de marcaje que van del verde al gris.

La *soldadura por gas* es un grupo de procesos de soldadura en los cuales la coalescencia se produce por calentamiento con una llama o llamas de gas con o sin aplicación de presión. El material de relleno se añade (normalmente) a los metales de base calentados que se van a soldar.

La *soldadura oxiacetilénica* es un proceso de soldadura por gas en el que la coalescencia se produce por calentamiento con una llama a cerca de 6.000 °F (3.300 °C), obtenida por la combustión del gas acetileno con el oxígeno a medida que se añade metal de relleno.

La *soldadura por termita* es un grupo de procesos de soldadura en que la coalescencia se produce por calentamiento con metal líquido sobrecalentado y escoria resultante de una reacción química entre un óxido metálico y aluminio. Normalmente no se aplica presión. El metal de relleno, cuando se utiliza, se obtiene del metal líquido. El proceso termita es útil para soldaduras muy pesadas, como piezas de 3" (76 mm) y mayores; por ejemplo se usa para soldadura de carriles en los ferrocarriles.

En la *soldadura con electroescoria* (véase la Figura 7.1b de la página anterior), las piezas son unidas en una pasada con el canal de soldadura en un plano vertical. La escoria en la parte superior del canal conduce el arco eléctrico que genera el calor requerido para fundir la escoria por flujo y el metal de relleno (soldadura de relleno). Una corriente de agua de refrigeración se utiliza para confinar el acúmulo fundido del flujo, metal de relleno y metal de base dentro de la garganta de la soldadura hasta que esté terminada y solidificada. Las tasas de depósito son elevadas con este tipo de soldadura. La soldadura se considera con estructura de grano grueso y requiere tratamiento térmico posterior para afinar la estructura del grano y zonas afectadas por el calor.

Algunos otros procesos de soldadura son la *soldadura de chorro eléctrico*, donde un chorro concentrado de electrones a alta velocidad genera un calor de fusión sobre la superficie a unir; la *soldadura por arco de plasma* es un proceso de fusión con gas inerte usando un arco constreñido, similar al proceso de arco al tungsteno; y la *solda-*

dura y corte por láser, que se consigue mediante la energía luminosa concentrada en un chorro a través de un dispositivo óptico denominado láser. La fuente de radiación en un láser está concentrada con sólo una pequeña divergencia del chorro, lo que da por resultado unas altas densidades o intensidades de energía de hasta 10^9 W/cm².

La Sección I del código ASME permite que los siguientes procesos de soldadura se usen en calderas de potencia: arco metálico protegido, arco metálico sumergido (SAW), arco metálico de gas (GMAW), arco de gas al tungsteno (GTAW), arco de plasma, arco metálico de hidrógeno atómico, oxihidrógeno y oxiacetilénico. Los procesos de soldadura por presión permitidos son el de «flash», inducción, resistencia, presión con termita y presión con gas.

Las soldaduras por puntos (o filetes) se hacen bajo ciertas tolerancias a seguir y es necesario a este respecto describir los términos garganta, pie, cara, altura o ancho y raíz (véase la Figura 7.2, que muestra un punto o filete de soldadura completamente soldado). Los términos se definen a continuación. La *garganta* de una soldadura es la distancia más corta desde la raíz de la misma a la cara. El *talón* es la junta entre la cara de la soldadura y el metal de base. La *cara o frente* de una soldadura es la superficie expuesta del lado que se hace o se ve la soldadura. La *raíz* de una soldadura es la parte más profunda donde comienza la soldadura que intersecciona a las superficies del metal base. El *ancho o alto* de la soldadura es la distancia desde la raíz de la junta al talón de un punto o filete. Las soldaduras de garganta se usan ampliamente para unir soldaduras a tope (Fig. 7.2a).

Soldadura a tope doble. En la soldadura a tope doble, el metal se deposita en la garganta de la soldadura por ambos lados de la chapa, mientras que en la soldadura a simple tope el metal se deposita sólo en un lado. La soldadura a tope sobre juntas longitudinales de calderines siempre está permitida, supuesto que se usa una banda o pletina para asegurar una penetración total de la soldadura en la junta. Pero la soldadura a tope simple puede usarse solamente donde el interior (la cara interior) de la soldadura donde es inaccesible para el soldador. Sobre juntas de unión longitudinales, la pletina dorsal debe retirarse.

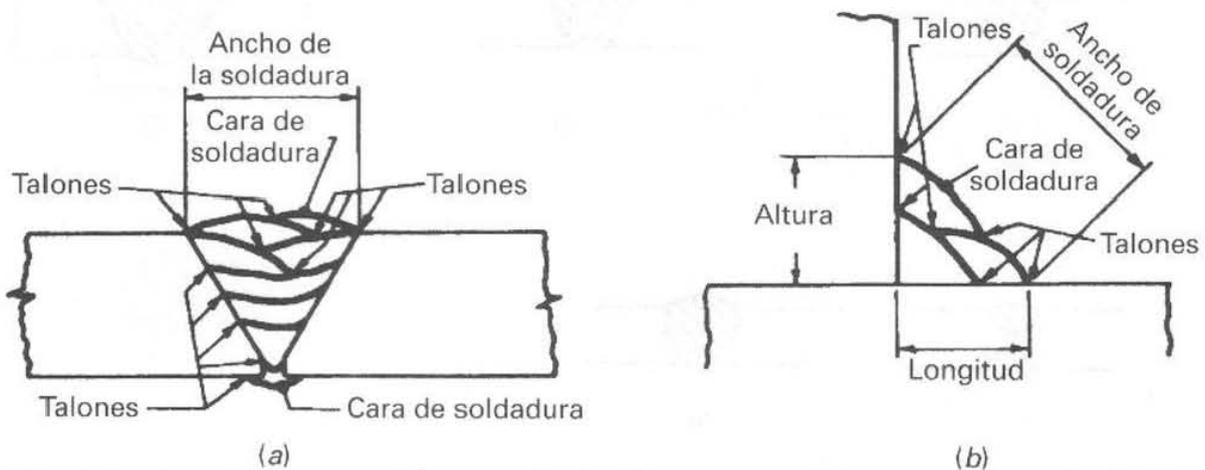


Figura 7.2. Terminología de la soldadura para soldadura a tope y con material de relleno. (a) Detalles descriptivos de la soldadura a tope. (b) Detalles descriptivos de la soldadura por puntos.

Después de que la primera cara de una doble junta soldada ha sido efectuada, la segunda cara debería limpiarse, amolarse (desgastar o pulir con muela) o limpiarse por fusión para asegurar una superficie limpia de forma adecuada, para asegurar la fusión del metal soldado sobre este lado, sin porosidad, escorias o poros. Los metales de base deberán estar limpios y libres de grasa, óxido o pintura u otras sustancias extrañas. A veces, antes de soldar, se especifica limpiar los metales base con una capa de aceite de linaza.

Problemas de soldadura. Hay ciertos problemas de soldadura que los buenos procedimientos de soldadura y soldadores expertos tratan de evitar. La Figura 7.3 lista algunos defectos comunes de soldadura y los pasos a tomar para evitarlos. Un problema muy común es el de las *inclusiones de escoria*. Ésta es un material sólido no metálico atrapado en una soldadura o entre el metal base y la soldadura metálica. La escoria es perjudicial porque impide y aminora la resistencia de una unión soldada basada en las características del metal. La *porosidad* de una soldadura son los vacíos o bolsas de gas dejados en ella, como resultado de un proceso incorrecto o de dificultades durante dicho proceso. Cuando tiene lugar la fusión, los metales de base soldados están afectados en una zona denominada zona afectada por el calor (HAZ). La zona afectada por el calor es aquella zona del metal de base que no ha sido fundida pero donde las posibles propiedades estructurales del metal base han sido alteradas por el calor de soldadura (o corte).

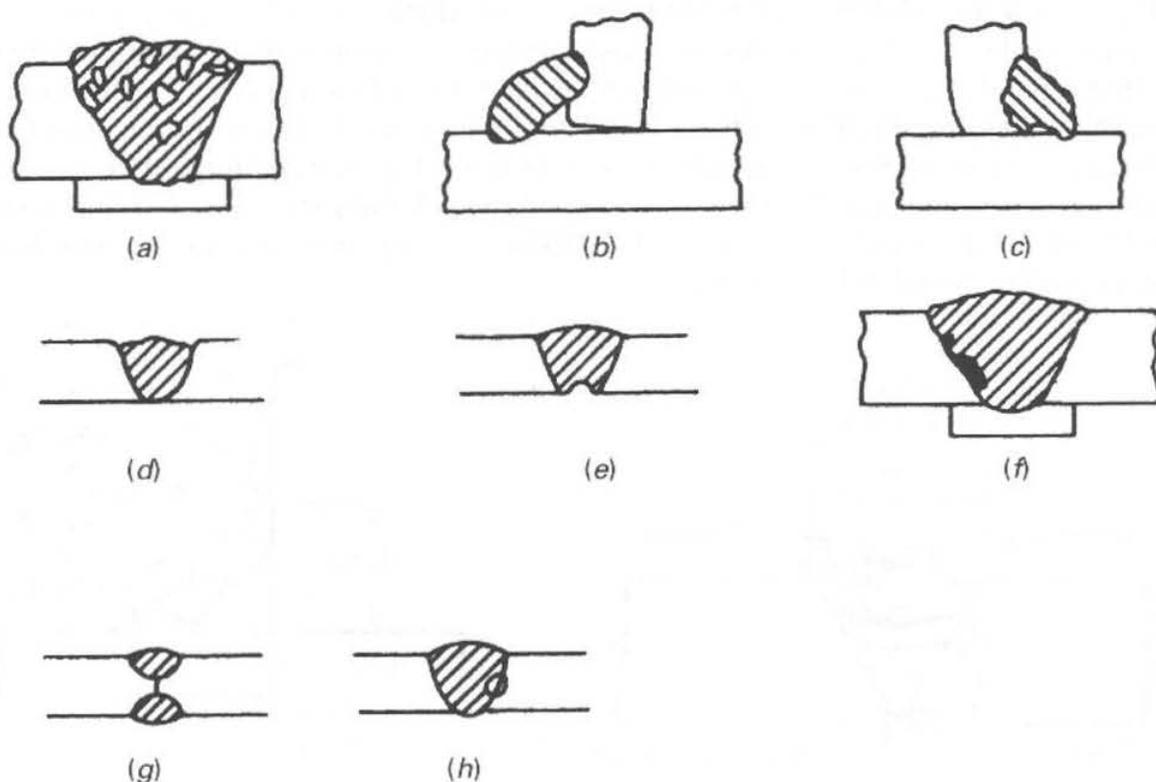


Figura 7.3. Algunos defectos de soldadura: (a) porosidad; (b) penetración inadecuada; (c) fusión incompleta; (d) soldadura incompleta; (e) cavidad en raíz; (f) inclusión de escorias; (g) penetración incompleta de la raíz; (h) función lateral incompleta.

La *tensión residual* es aquella tensión interna remanente en el metal fundido y materiales adyacentes de base cuando se ha realizado una soldadura. Ha sido causada por el alto calor concentrado en la soldadura comparado con el del metal más frío. Esto es la sede de un gradiente térmico, que lleva a una dilatación y contracción no uniformes, lo que induce tensiones internas en la soldadura. El martilleo y el tratamiento térmico reducirán las tensiones residuales. Esto se denomina *descarga de tensiones* o tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Las *grietas* en las soldaduras se ilustran en la Figura 7.4 y son causadas normalmente por alguna forma de dilatación y contracción durante la soldadura. Sin embargo, cada tipo de grieta tiene sus causas específicas, incluso aunque las grietas se dividen en dos categorías: 1) grietas en caliente que ocurren antes de la solidificación de la soldadura, y 2) grietas en frío que tienen lugar después de que la solidificación ha terminado. Las grietas no están permitidas por el Código en la soldadura, porque este tipo de discontinuidad tiene la capacidad de propagarse y producir serios fallos en piezas sometidas a presión. Las grietas son también producidas por cambios metalúrgicos en el proceso de soldadura que hacen frágil a la junta soldada, especialmente en la zona afectada por el calor de la soldadura. La capacidad de formar una estructura frágil en la HAZ aumenta a medida que lo hace

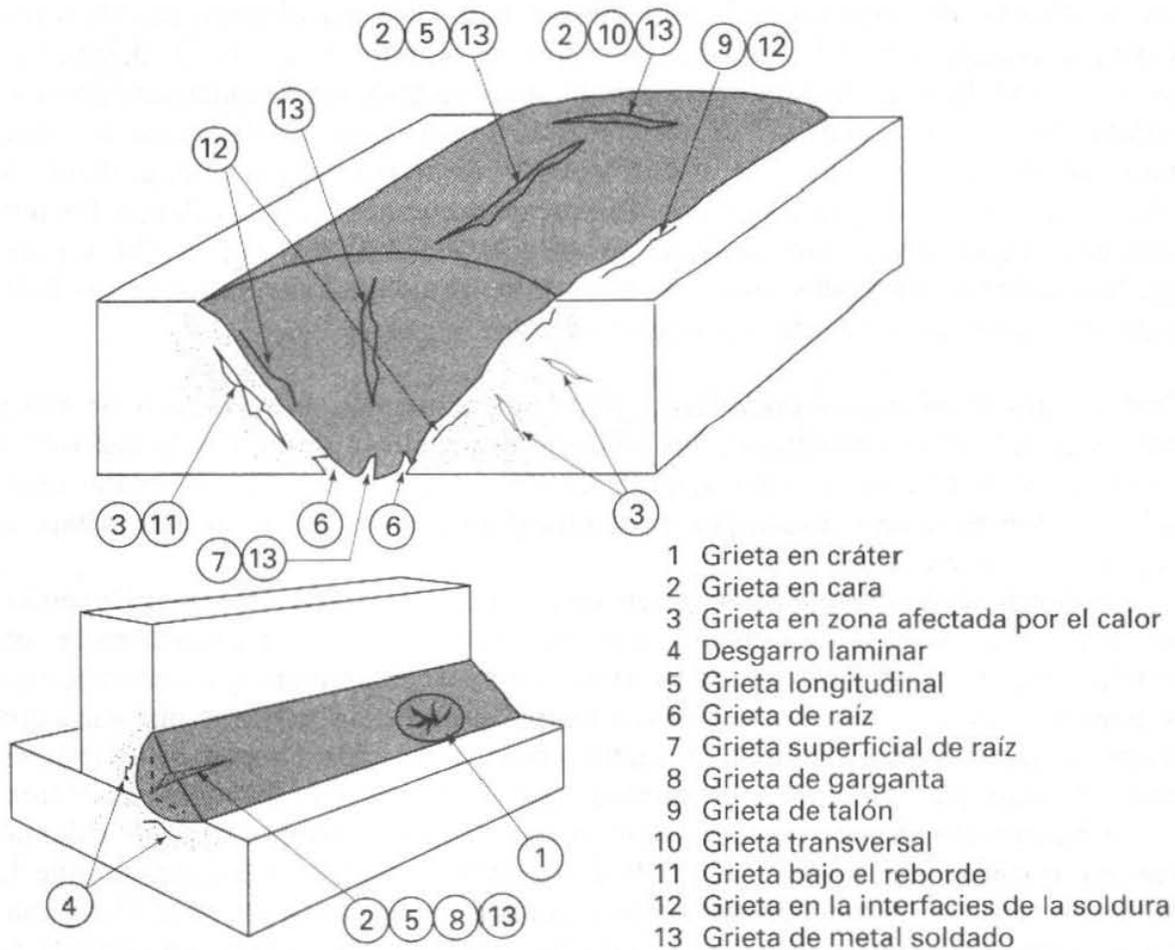


Figura 7.4. Las grietas en las soldaduras tienen múltiples causas. El Código no permite que las grietas permanezcan sin corregirse, porque actúan como concentradoras de tensiones para ulterior propagación de la grieta.

el contenido de carbono y aleación del metal base, porque el alto contenido de carbono aumenta la dureza y disminuye la ductilidad de la HAZ. Este tipo de grieta puede ser evitado usando electrodos de bajo contenido de hidrógeno, utilizando el precaldeo y realizando una buena preparación y limpieza de la junta a soldar, dejándola libre de humedad, grasa, aceite y cualquier otro compuesto hidrocarbonado. En muchos casos debe usarse un tratamiento térmico después de realizada la soldadura.

Los defectos en soldadura normalmente pueden repararse por amolado, lijado de la sección defectuosa (vacíos, grietas térmicas, falta de penetración, etc.) para sanear el metal y después volver a soldar. Generalmente deben usarse ensayos o pruebas no destructivas para estar seguro de que la sección defectuosa ha sido totalmente eliminada; la reparación también tiene que comprobarse por ensayos no destructivos. Las aberturas o agujeros (de hombre) están permitidos en las uniones de calderas soldadas. Sin embargo, la soldadura debe haber sido descargada de tensiones y radiografiada y la soldadura de la abertura debe examinarse para comprobar la no existencia de grietas en ambos lados por el método de partículas magnéticas.

Pre calentamiento. El pre calentamiento se recomienda por los ingenieros de soldadura para los aceros aleados en orden a reducir el nivel de diferencia térmica que existe entre el metal base de la zona próxima a la soldadura y el baño de soldadura. Esto evitará posibles grietas en la soldadura en la medida que el metal base más frío resista la contracción del metal de la soldadura cuando se caliente y después se enfríe. El uso del pre calentamiento también aminora las tasas de enfriamiento en el metal de la soldadura y en la HAZ, produciendo una estructura metalúrgica de soldadura más dúctil y haciendo que el hidrógeno se difunda o salga fuera, evitando la rotura o agrietamiento por hidrógeno. El pre calentamiento implica calentar los metales base a una temperatura de alrededor de 150 °F a 400 °F (65 °C a 204 °C), dependiendo de los materiales soldados, antes de la soldadura. Esto reduce las posibilidades de tensiones residuales cuando se efectúe la misma.

Tratamiento térmico post-soldadura. Este procedimiento aminora las tensiones y mejora la resistencia elástica de las soldaduras metálicas de aceros al carbono y aceros aleados. El concepto del tratamiento térmico post-soldadura es relajar cualquier tensión residual causada por soldadura y temple del metal, lo que evitará la fragilidad y rotura.

Adicionalmente a la relajación de tensiones, el post-calentamiento se utiliza en los aceros de aleación baja para obtener una estructura de grano homogéneo en la soldadura y metal base por tratamiento térmico a mayor temperatura que para descarga de tensiones, lo que puede ser seguido de temple a temperatura menor, que varía con el tipo de acero. Dependiendo de los metales base implicados, el tratamiento térmico post-soldadura puede mejorar, no cambiar nada o degradar la tenacidad de rotura.

El tratamiento térmico post-soldadura o relajación de tensiones requiere calentar una unión soldada de 1.100 °F a 1.200 °F (de 593 °C a 649 °C) después de que la unión esté soldada y mantener esta temperatura durante una hora por cada 25 milímetros de espesor. Todo el recipiente o solamente la unión soldada debe ser relajada de tensiones. Es una práctica común completar todas las soldaduras y después rebajar las tensiones de todo el recipiente. La descarga de tensiones afecta a la estructura metálica en su forma cristalina y así reduce la concentración de tensiones residuales en la

soldadura. Después de que se ha mantenido la temperatura requerida por el tiempo especificado, el enfriamiento hasta 600 °F (315 °C) debe ser gradual, después de lo cual el metal puede ser enfriado hasta la temperatura ambiente. El *martilleo* es un trabajo mecánico del metal por medio de golpes de martillo de modo que se reduzcan las tensiones residuales de una junta soldada producida por el calor de soldadura.

Consideraciones metalúrgicas. Algunas consideraciones metalúrgicas puede hacerse cuando uno contempla un proceso de soldadura. Deben tenerse en cuenta las siguientes:

1. Soldabilidad de las piezas a unir. El Código puede imponer restricciones severas.
2. Condiciones de superficie necesarias y compatibilidad de las propiedades químicas y mecánicas de los metales base al proceso de soldadura que se está utilizando. La humedad de la superficie de los metales ferrosos así como en el electrodo puede dar lugar a porosidad y grietas por hidrógeno en forma de burbujas.
3. La semejanza de los materiales de relleno o electrodos y los metales de base para evitar posible fragilidad de la soldadura.
4. Adecuación del proceso de soldadura para el tipo, espesor y aleaciones de los metales a soldar.
5. Evaluación de los efectos del precalentamiento y tratamiento térmico post-soldadura. Para metales con altas tasas de dureza, un enfriamiento lento evitará el agrietamiento de la zona afectada por el calor. La matriz cúbica centrada en las caras del material puede desarrollar estructuras de grano cristalino grueso cuando se enfría lentamente.
6. Flujos. Flotan mezclados cuando se funden sobre la parte superior de los metales líquidos, protegiendo o haciendo de escudo de los metales respecto a la atmósfera. Las reacciones químicas entre el metal y los flujos son posibles en las interfaces. Si el flujo es alto el dióxido de silicio (SiO_2) es posible una reacción química que pueda producir mayor porcentaje de silicio en el metal soldado de lo previsto.

Pruebas normalizadas de soldadura. La Sección IX del código ASME de calderas y recipientes a presión contiene detalles sobre especificaciones que deben prepararse por el fabricante y las pruebas que deben hacerse por un soldador para ser considerado soldador cualificado.

Debería ser apropiado definir los términos: prueba de tensión en la sección reducida; prueba de doblado libre; prueba de doblado o flexión de raíz; prueba de doblado o flexión de la cara, y prueba de doblado o flexión lateral, ya que son utilizados intensivamente en las calificaciones de soldadura normalizadas. Véase el código ASME, Sección IX, para especificaciones típicas de pruebas de soldadura. Las pruebas de tensión en la sección reducida se utilizan para calificar el proceso que, en taller o local del contratista, se usan para soldar. Cuando se rompen bajo presión, debe tener una última resistencia o tracción al menos del rango mínimo de la chapa que se suelda (material base) y la elongación debe ser de como mínimo del 20 por 100.

La prueba de doblado lateral o flexión lateral se usa para calificar soldadores. El espécimen se somete a flexión contra el lado de la soldadura. En el test de flexión de

cara (véase la Figura 7.5) el espécimen es sometido a flexión contra la superficie o cara de la soldadura. En el test de flexión de raíz, el espécimen es sometido a flexión contra la parte inferior o raíz de la soldadura. El test o prueba de flexión libre es una prueba de calificación del procedimiento en taller o lugar de la contrata. La prueba consiste en el doblado o flexión en frío de un espécimen y las fibras exteriores de la soldadura deben alargarse (sin agrietarse ni romperse) al menos un 30 por 100 antes de que la rotura tenga lugar.

Para pasar cada prueba, los especímenes, guiados a flexión no deben presentar grietas u otros defectos abiertos que excedan de $1/2''$ (12,2 mm) medidos en la dirección de la superficie convexa del espécimen después de la flexión, excepto que las grietas aparezcan en las esquinas del espécimen durante la prueba y que no se consideran a no ser que estas ocurran por inclusiones de escoria u otros defectos técnicos de soldadura.

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Cada fabricante o contratista que construye una caldera por soldadura según el Código está obligado a llevar el registro del detalle del procedimiento seguido. Cada procedimiento requiere prueba de las soldaduras realizadas por tests de especímenes de sección reducida y especímenes de flexión o doblado guiado. Las variables que requieran un nuevo procedimiento y nuevas chapas de prueba son muy numerosas. Entre éstas están los cambios en los materiales de base, agrupados en Aplicaciones de soldadura ASME (Sección IX) en los números «P». Por ejemplo, P-1 incluye los aceros al carbono, P-2 se utiliza como hierro bruto, pero no está listado más, P-3 consta de aceros al cromo-molibdeno, con contenido de cromo por debajo del 0,75 por 100 y con un total de contenido de aleación no mayor del 2 por 100. El rango de números P llega hasta P-10, de modo que las variables de material base en el procedimiento de calificación es grande.

La siguiente variable es el electrodo y selección de la varilla de soldadura, con rangos desde F-1 a F-7. Cada cambio en la selección de electrodo por varilla de solda-

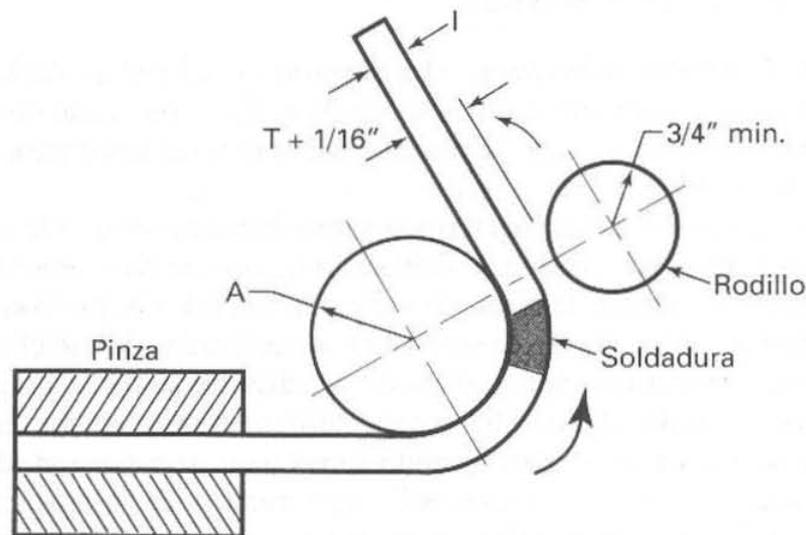


Figura 7.5. Las pruebas mecánicas de soldadura incluyen flexión guiada de las soldaduras de garganta. La ilustración es de la prueba de doblado de cara.

dura requiere un nuevo conjunto de pruebas de chapas o proceso de fabricación. El metal de la soldadura se clasifica por análisis del metal, según los números desde A-1 hasta A-8. Éstos se relacionan con los numerosos P equivalentes del material base. De nuevo los cambios del metal soldado de la clasificación del metal más equivalente requieren un nuevo conjunto de test de chapas o procedimiento de cualificación.

El espesor de la chapa o tubo a soldar es otra variable. La clasificación va desde 1/16" a 3/8" (1,59 a 9,53 mm), desde 3/8" a 3/4" (9,53 a 19 mm) y de más de 3/4" como se ve en el Código. El código ASME de soldadura especifica otras variables a considerar al requerirse un nuevo procedimiento de cualificación y prueba, y éstas deberían consultarse para variables específicas.

En las soldaduras de garganta, se requiere para calificación del soldador una prueba de flexión o doblado de cara y una prueba de flexión o doblado de raíz para cada posición de soldadura. Para soldadura por puntos se precisa una prueba de chapa según el Código, pero pasando la prueba de soldadura de garganta también se clasifica al soldador para soldadura por puntos. La calificación del procedimiento requiere pruebas de flexión de dos caras, pruebas de flexión de raíz y dos test de tensión en la sección reducida, como se ilustra en el Código de calificación de soldadura de la ASME.

Cualificación del soldador. Un soldador cualificado es alguien que es capaz de realizar soldaduras manuales o semiautomáticas. Un operario de soldadura es el que opera una máquina o equipo de soldadura automática. El Código de trabajo de calderas exige la utilización de un soldador cualificado en la mayoría del trabajo donde se realizan soldaduras según el Código.

La prueba de cualificación puede ser realizada por los fabricantes o contratistas responsables. En los trabajos sobre recipientes a presión, debe certificarse y calificarse también el procedimiento de soldadura del fabricante o contratista antes de que el soldador pueda ser calificado. Bajo otros códigos o normativas esto no es necesario. Para llegar a esta cualificación un soldador debe realizar soldaduras específicas, utilizando el proceso de soldadura exigido, el tipo de metal, espesor, tipo de electrodo, posición (véase la Figura 7.6 de la página siguiente) y diseño de junta. Los especímenes de prueba deben estar hechos a tamaños normalizados y bajo la observación de una persona cualificada. En la mayoría de las especificaciones gubernamentales un inspector gubernativo debe testificar la ejecución de los especímenes de soldadura. Los especímenes deben estar también adecuadamente identificados y preparados para las pruebas. La prueba común es el test de flexión guiado. Sin embargo, los exámenes de rayos X, pruebas de rotura u otras pruebas también se utilizan. La ejecución satisfactoria de las pruebas de especímenes cualificará* al soldador para tipos específicos de soldadura. La certificación según el Código, en general está basada en el rango del espesor a soldar, las posiciones a utilizar y los materiales a soldar.

Recuerde. La soldadura de piezas de caldera está bajo control cerrado de las muchas variables implicadas en la soldadura, de modo que compruebe el código de soldadura ASME**. Recordamos de nuevo los siguientes puntos:

* Supuesto que cumplan las normas de aceptabilidad.

** En España, «Reglamento de Aparatos a Presión e Instrucciones Técnicas Complementarias» del MINER.

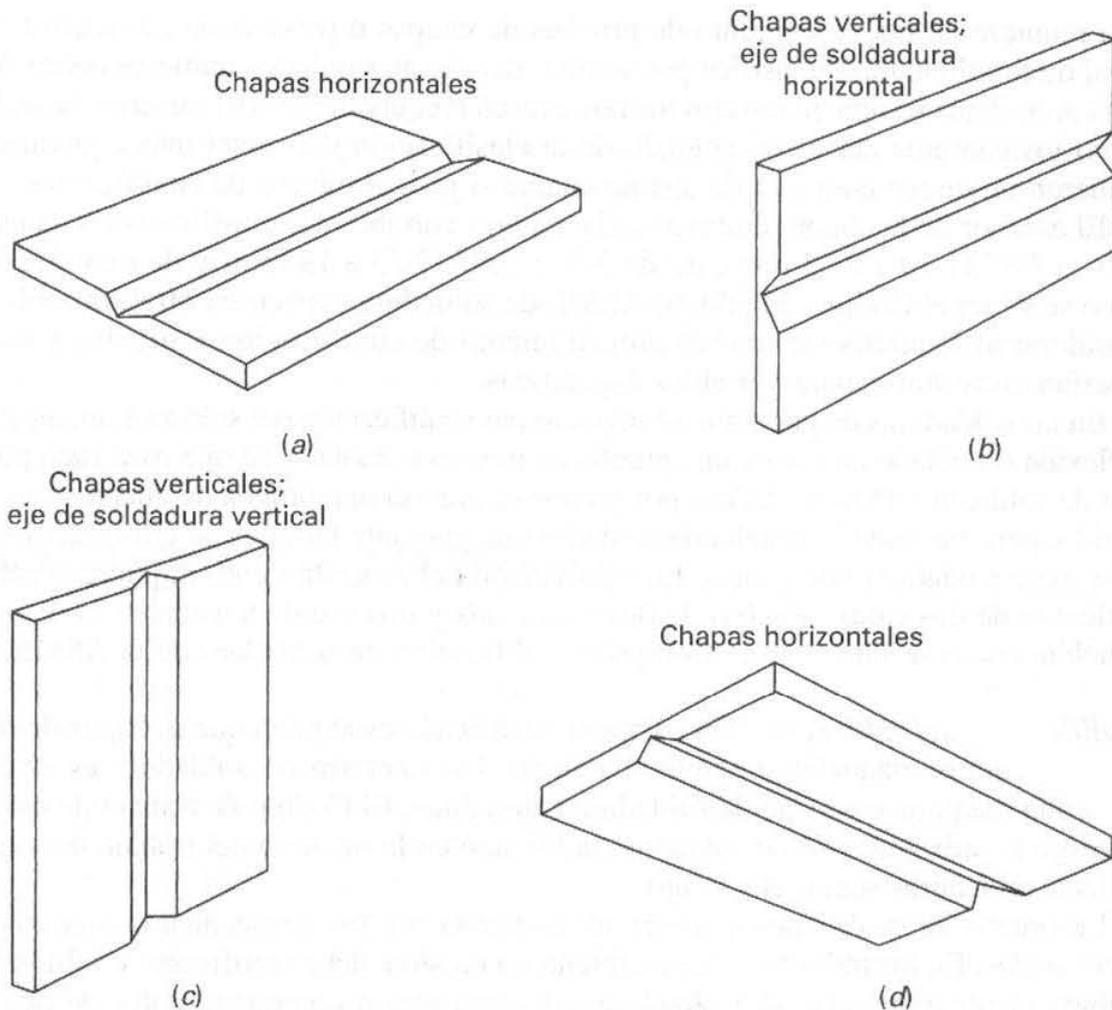


Figura 7.6. Código de posiciones de soldar para soldaduras de garganta utilizadas para cualificar operadores. Posiciones de las pruebas: (a) 1G; (b) 2G; (c) 3G; (d) 4G.

1. El fabricante o contratista que sigue el Código de soldadura en calderas y recipientes a presión (o vasijas nucleares) es responsable de dirigir las pruebas del procedimiento de cualificación y las cualificaciones de los soldadores para el trabajo hecho por su organización.
2. Las cualificaciones de los soldadores permanecen efectivas en tanto en cuanto el soldador esté empleado por el mismo fabricante u organización y para las soldaduras de modo continuo. Pero si el soldador cambia de empleo, ya no se le considera más como cualificado, y así debe realizar las pruebas de nuevo. Si el soldador no ha hecho ninguna soldadura en un período de más de seis meses en la posición, material, etc., para las cuales fue cualificado, debe ser recualificado.
3. El fabricante o contratista es responsable de mantener todos los registros de procedimiento y pruebas de cualificación de soldadores. Éstas son necesarias como evidencia del taller o habilidad del soldador para hacer aceptable su trabajo según el Código. Un inspector autorizado según el Código tiene derecho, sin embargo, a preguntar o exigir otras pruebas si hay razón para creer que la soldadura no es aceptable según los requisitos normativos.

4. El fabricante o contratista debe asignar números identificativos, letras o símbolos para cada soldador cualificado y operario de soldadura, de forma que el trabajo del soldador u operario de soldadura podrá ser identificado y retomado si es necesario.

Los soldadores no cualificados pueden ser utilizados en calderas construidas según normativa legal para soldar piezas cuya resistencia en la caldera no depende en ningún modo de la soldadura y, adicionalmente, el efecto térmico de la soldadura no afecte en modo alguno a la resistencia de las piezas o componentes o sea asiento de tensiones en partes adyacentes a la zona que está siendo soldada.

No es permisible soldar cualquier tipo de acero para piezas de calderas a presión. Debe ser material admitido por la normativa legal y también debe ser acero al carbono o aleado de un contenido de carbono de no más del 0,35 por 100. Esta regla también se aplica al corte oxiacetilénico u otros procesos de corte térmico.

Los calderines soldados de caldera pueden tener una distorsión limitada. El calderín debe ser circular en cualquier sección dentro del límite del 1 por 100 del diámetro medio. Si es necesario para cumplir este requisito, las chapas deben ser calentadas, relaminadas o reformadas. Los hogares deben ser laminados (en calderas escocesa marinas o de hogar interior) con una desviación máxima de la circunferencia real de no más de 1/4" (6,35 mm).

Las chapas de espesor desigual pueden soldarse supuesto que haya una sección de transición intermedia, que tendrá una longitud no menor de tres veces la diferencia entre las superficies de chapa adyacentes, y supuesto que las juntas o uniones entre chapas difieran en espesor no más de 1/4 del espesor de la chapa más fina, o no más de 1/8" (3,2 mm).

Hay muchos requisitos normativos detallados en la Sección I del Código, así como requisitos en el Código de calderas de calefacción, Sección IV. Además los requisitos generales de soldadura están cubiertos extensamente en la Sección IX del Código, que debería ser revisada para ver los detalles sobre los requisitos.

INSPECCIONES DE SOLDADURA EN CAMPO

Las siguientes son algunas áreas que el personal de planta debería cubrir o cumplir cuando se revisan las soldaduras realizadas en su planta:

1. Conformidad del proceso de soldadura que esté siendo utilizado con las especificaciones del procedimiento escrito.
2. Extensión de la limpieza de una junta previamente a su soldadura para asegurar una soldadura perfecta.
3. Precalentar y mantener las temperaturas de transición y ver cómo son éstas en comparación con los requisitos del Código para los materiales que están siendo soldados.
4. Preparación de la junta y conformidad con las especificaciones del Código y dimensionales escritas.

5. Material de relleno y adecuación para el proceso de soldadura y el material que está siendo soldado según requisitos del Código.
6. Martilleo, amolado y vaciado que se llevan a cabo después de cada pasada de soldadura para eliminar escorias e impurezas.
7. Refuerzo de la chapas durante la soldadura para controlar la distorsión.
8. El tratamiento térmico después de la soldadura debe ser realizado y cumplido según el Código y los requisitos de temperatura y tiempo de mantenimiento de la misma.
9. Cualificación de los soldadores que hacen el trabajo y la correspondiente documentación a cumplimentar por el fabricante o contratista.

NORMAS DE SEGURIDAD

La AWS (American Welding Society) ha publicado muchas líneas maestras a seguir como normas recomendables de seguridad al realizar las soldaduras de campo. Entre éstas están las siguientes:

1. Los gases y humos generados por una soldadura requieren adecuada ventilación alrededor del lugar donde se efectúa.
2. La radiación en forma de luz ultravioleta del arco de soldadura requiere el uso de filtros para proteger los ojos y vestido adecuado para proteger la piel.
3. El ruido producido por el trabajo requiere utilizar protección de oídos en forma de casco u orejeras.
4. El levantamiento de piezas pesadas exige seguir las reglas establecidas de seguridad sobre prácticas adecuadas de elevación.
5. Las descargas eléctricas deben evitarse estando seguros de que el equipo está conectado a tierra adecuadamente y de que no hay contacto con partes eléctricas vivas.
6. El peligro de incendio debe evitarse con la purga adecuada de cualquier recipiente que contenga gases o líquidos combustibles. La zona contigua de toda soldadura debe comprobarse respecto a todo material combustible y los procedimientos de protección de incendios deben seguirse, incluso la vigilancia y extintores a localizar y situar en las proximidades.
7. Es esencial tener un procedimiento para el permiso de trabajo en caliente del lugar, implicando la supervisión por ambas, tanto la gerencia de la propiedad como del contratista de soldadura. La gerencia de la propiedad conoce los riesgos que pueden existir en su operación por utilizar una fuente de ignición potencial representada por toda operación de corte o soldadura.
8. La entrada en espacios cerrados según la normativa OSHA requiere procedimientos de purga y después prueba del espacio confinado para estar seguro de que hay al menos 19 por 100 de oxígeno presente en dicho espacio del recipiente o vasija. La regulación también requiere que se sigan otras normas de OSHA para entrada en espacios confinados como la de que no se ponga en peligro al personal que entre en tales espacios y que haya seguridad de socorro en caso de accidente en su interior.

PRUEBAS Y EXÁMENES NO DESTRUCTIVOS

Las técnicas modernas de inspección para asegurar la buena calidad de materiales, para detectar defectos ocultos de fabricación, para comprobar soldaduras y reparaciones y para aumentar el esfuerzo de prevención de pérdidas en plantas requiere el uso de métodos de inspección por técnicas no destructivas. Las pruebas no destructivas se usan también para predecir la vida futura del equipo. Por ejemplo, la comprobación periódica del espesor de una chapa en servicio corrosivo ayudará a determinar cuándo puede tener que reducirse (ese servicio) porque la chapa haya disminuido su espesor; esto también determina que tasa hay de desgaste por año.

El término pruebas no destructivas (NDT) se utiliza para describir el método de prueba o material de inspección para determinar la solidez (o falta de defectos) para que no afecte física o químicamente al material. Las pruebas no destructivas pueden implicar los métodos siguientes: examen visual, prueba hidrostática o de fugas radiográficas, partículas magnéticas, tintes penetrantes, ultrasonidos y corrientes parásitas. También están siendo desarrolladas emisiones acústicas y pruebas holográficas, en ambos casos requiriendo la colaboración de técnicas informáticas para registrar señales y anotar cambios en las mismas de lecturas previas.

El propósito de las NDT es detectar faltas de tipo incipiente, como grietas, inclusiones, vacíos, porosidad, falta de fusión en soldaduras, laminaciones, faltas de penetración, cortes no visibles, contracciones, mermas y defectos similares de modo que se puedan efectuar reparaciones antes de que los defectos puedan producir un fallo serio en el servicio. Las propiedades mecánicas de las soldaduras se comprueban también. Éstas incluyen pruebas de flexión y de extensión, pero éstas se consideran destructivas porque tiene lugar una deformación permanente. Las pruebas de dureza se utilizan también para comprobar los cambios metalúrgicos que pueden haber ocurrido en la zona afectada por el calor (HAZ) de una soldadura, y estas pruebas pueden considerarse no destructivas.

Una breve revista de los métodos NDT empleados en fabricación y reparación de calderas es adecuada, pero los requisitos exactos están detallados en el código ASME, concretamente en la Sección V.

Inspecciones visuales. La inspección visual de una soldadura como método NDT comienza con la comprobación de si se ha usado el material adecuado según el Código. Esto se hace normalmente comparando el informe de la laminación con las marcas que lleva el material. Debe comprobarse también la selección y almacenaje de los electrodos. Los procedimientos escritos de soldadura deben revisarse, así como el registro de soldadores que realizaban el trabajo. Es importante revisar la posición y alineación de las piezas a soldar para estar seguro de que cumplan las especificaciones del Código. Las soldaduras deberán comprobarse para poner de manifiesto falta de fusión de la junta, cortes anteriores y observaciones visuales de defectos semejantes. Un inspector experto detectará muchos defectos por simple inspección visual. La AWS ha establecido ahora un programa de pruebas para certificar inspectores de soldadura que cumplan un mínimo establecido de requisitos.

Un boroscopio o fibroscopio puede utilizarse en las zonas difíciles de ver de un recipiente, zonas como los tubos en un cambiador de calor. El boroscopio es un tubo

deslizante y flexible de manejo manual consistente en una serie de lentes y fuentes de luz internas que permiten visualizar una zona o pared de un recipiente que normalmente no puede verse. La llegada de la fibra óptica ha conducido al desarrollo del fibroscopio, que consiste en un conjunto de luces y fibras transmisores de imagen por el interior de un alojamiento flexible que tiene una lente ocular en un extremo. Pueden adaptarse cámaras a la lente para obtener un registro permanente de lo que se visualiza. Los defectos que pueden detectarse con tales instrumentos incluyen corrosión con pasos de gases por fluidos bloqueados, incrustaciones, ampollas y problemas similares que no podían detectarse sin la ayuda de esta inspección visual.

Examen radiográfico. La inspección radiográfica incluye los rayos X y rayos gamma obtenidos a partir de isótopos, como el cobalto 60 y el iridio 192 cuya energía radiante puede ser controlada con seguridad. El método radiográfico de prueba básicamente implica el paso de radiaciones a través del material que se quiere probar. Los rayos inciden sobre una película o pantalla y por visión del contraste es posible para un radiografista experto detectar y detallar la estructura interna del objeto sometido a prueba. El punto focal es una pequeña zona en el tubo de rayos X desde la cual emana la radiación. En radiografía gamma, un isótopo como el cobalto 60 es la fuente o foco de radiación. Cuando se usan isótopos radiactivos, la intensidad en curios es importante, así como el tamaño físico de la fuente. A menor fuente de radiación, más cercano debe colocarse el material; al mismo tiempo, cuanto menor es el tamaño, más débil es la intensidad de la fuente en curios y mayor tiempo de exposición se necesita (véase la Figura 7.7).

La intensidad de la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. Sin embargo, no es posible colocar el foco y el material tan cercanos como es necesario. Se comprobará que cuanto más corta es la distancia fuente-película, mayor es el paralaje o halo, efecto sobre la película radiográfica. Esto puede hacer borroso o desdibujar la imagen de una inclusión que debe estar en el material de prueba y así enmascarar un defecto. La distancia mínima a la película, según el tipo de fuente, tamaño de la mancha focal y espesor implicado, se determina mediante una fórmula normalizada para la falta de contraste geométrico:

$$Ug = \frac{Ft}{D}$$

donde:

Ug = falta de contraste geométrico

F = tamaño del foco en pulgadas (cm o mm)

D = distancia de la fuente al objeto que se está radiografiando en pulgadas (cm o mm)

t = espesor de soldadura u objeto que está siendo radiografiado en pulgadas (cm o mm)

Máxima tensión (kV punta)	Pantallas	Aplicaciones y límites aproximados de espesor práctico
50	Ninguna	Secciones metálicas extremadamente delgadas. Madera, plásticos, especímenes biológicos, etc.
150	Ninguna o lámina de plomo	Aleaciones ligeras, 5" (127 mm). Aluminio o equivalente; 1" (25,4 mm) acero o equivalente
250	Fluorescente	1 1/2" (38 mm) acero o equivalente
	Lámina de plomo	2" (50,8 mm) acero o equivalente
400	Fluorescente	3" (76,2 mm) acero o equivalente
	Lámina de plomo	3" (76,2 mm) acero o equivalente
1.000	Fluorescente	5" (101,6 mm) acero o equivalente
	Lámina de plomo	5" (127 mm) acero o equivalente
2.000	Fluorescente	8" (203,2 mm) acero o equivalente
	Lámina de plomo	8" (203,2 mm) acero o equivalente
15-24	Lámina de plomo	16" (406 mm) acero o equivalente
MeV*	Fluorescente	20" (508 mm) acero o equivalente

* Millones de electronvoltios.

(a)

Material	Vida media	Millones de electron-voltios de rayos	Espesor de la aplicación de acero en pulgadas
Cobalto 60	5,3 años	1,17-1,33	1,5-5
Cesio 137	33 años	0,66	1,0-4
Iridio 192	70 días	0,137-0,651	0,5-2,5

(b)

Figura 7.7. (a) Máquinas típicas de rayos X utilizadas en radiografías para comprobar defectos metálicos. (b) Fuentes radiactivas de rayos gamma utilizadas en radiografías para detectar defectos de material.

Generalmente la falta de contraste geométrico no será mayor que 0,020" (0,5 mm) para un material con espesor inferior a 2" (50,8 mm); no mayor de 0,03" (0,76 mm) para material con espesor entre 2" y 4" (50 a 101 mm); y no más de 0,05" (1,27 mm) para material con espesor mayor de 4" (101 mm). Se requiere un operario de radiografías experto y cualificado para demostrar la capacidad de cumplir estos requisitos.

El tiempo de exposición para una radiografía debe ser suficiente para cumplir con las normas de densidad de película, que es una medida del efecto de oscurecimiento sobre la película expuesta. Las radiografías que están con demasiada luz pueden no revelar defectos como inclusiones, y aquellas que son demasiado oscuras

pueden hacer imposible separar los defectos del fondo. Los requisitos de densidad según la Sección V del código ASME estipulan que «la densidad de la película transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrámetro adecuado y la zona de interés» serán:

- 1,8 para película sencilla visionando película de rayos X.
- 2,0 para radiografías de fuente de rayos Gamma.
- 2,6 para exposiciones de película doble.
- 4,0 para densidad máxima permitida para visionado simple o compuesto.

En las zonas soldadas que van a ser radiografiadas, las superficies deben estar pulidas de modo que se eliminen las irregularidades superficiales que pudieran interferir con una interpretación adecuada de la película.

En todo trabajo radiográfico existe un riesgo para la salud para todo el personal que esté en la zona de trabajo, a no ser que se sigan y cumplan las reglas de seguridad. Éstas comprenden tanto reglamentaciones de cuerpos legales gubernamentales como las de seguridad para los oficiales de radiación de planta. Las normas de seguridad generalmente especifican el uso de dispositivos de monitorización para la detección de radiaciones, la necesidad de acordonar el área o zona de trabajo y la situación de señales de alarma, el establecimiento de límites para dosis de radiación y el registro de dosis recibidas por los trabajadores y las acciones a tomar cuando estos límites son violados.

La inspección radiográfica exige una interpretación de las radiografías sobre película. Véase la Figura 7.8.

Los defectos tales como grietas, inclusiones de escoria, falta de penetración, vacíos y otros aparecen como zonas oscurecidas en la película ya que tienen menor densidad que el metal macizo. Las faltas típicas a resaltar son las siguientes: grietas que aparecen como líneas irregulares oscuras, inclusiones de escoria que se muestran como pequeños puntitos o motas oscuras con líneas externas irregulares, bolsas de gas que aparecen como motas oscuras con líneas externas suaves con arañazos o fallos ocasionales y la falta de penetración que se evidencia por una suave línea oscura a menudo localizada en medio de una soldadura.

El Código proporciona guías o normas para juzgar cuándo una indicación es aceptable. Algunas de las normas o requisitos son los siguientes:

1. El primer requisito es la inspección visual de la soldadura. Las uniones deben tener penetración total de la junta y deben estar libres de cortes internos, solapes o picos y valles abruptos. Está especificado que el refuerzo de soldadura no exceda de lo siguiente:

Espesor de chapa	Máximo espesor del refuerzo
Hasta 1/2" (12,8 mm) inclusive	1/16" (1,59 mm)
Más de 1/2" a 1" (25,4 mm) inclusive	3/32" (2,38 mm)
Más de 1" a 2" (50,8 mm) inclusive	1/8" (3,175 mm)
Más de 2" inclusive	5/16" (7,94 mm)

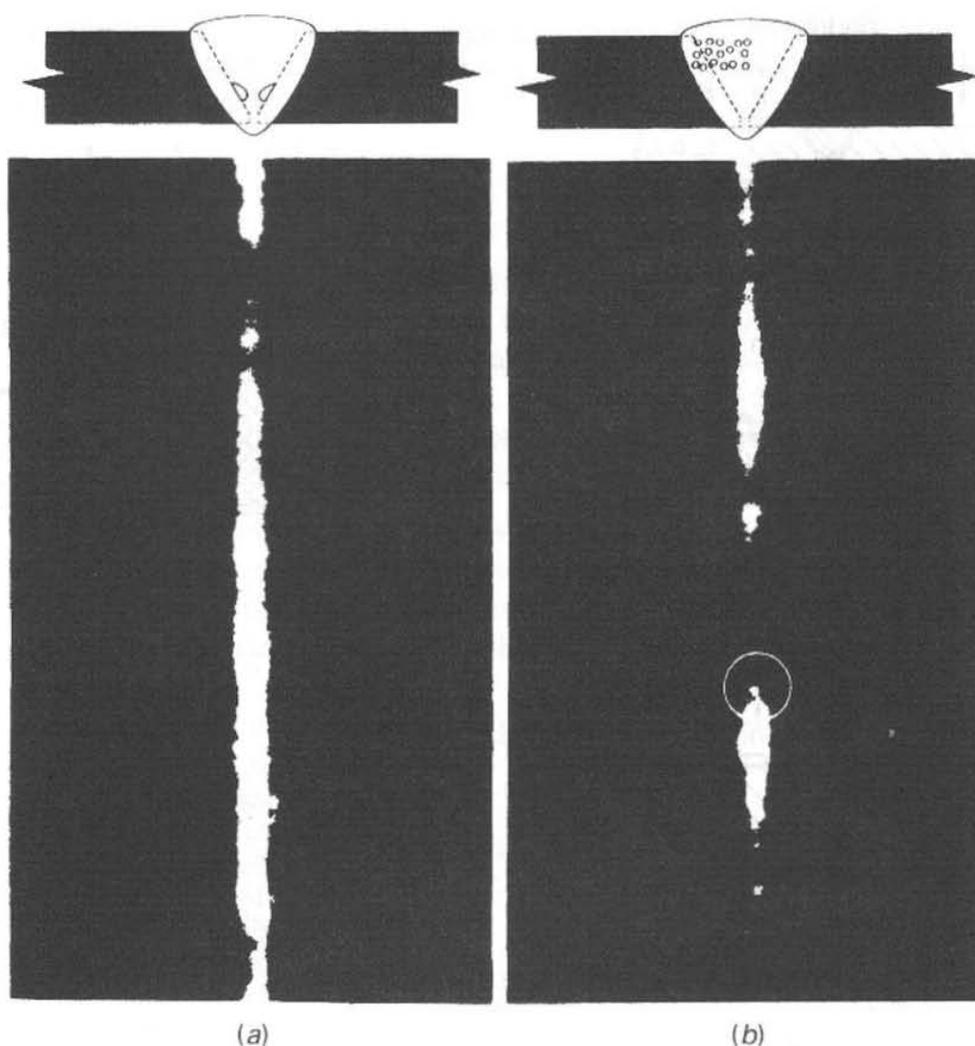


Figura 7.8. Se requiere experiencia en la interpretación de películas radiográficas para estudiar las formas típicas de los defectos. (a) Falta de fusión de la pared lateral. (b) Porosidad agrupada. (Cortesía de E. I. du Pont de Nemours & Co. Inc.)

2. Las juntas soldadas para ser radiografiadas deben estar libres de arrugas o irregularidades superficiales de soldadura hasta el punto de que el contraste radiográfico resultante debido a algunas irregularidades no oculte o induzca a confusión en las imágenes de un defecto cuestionable.
3. Deben usarse unos patrones denominados penetrámetros para cada exposición de una película. El penetrámetro sirve como patrón de referencia y comparación sobre la película para comparar la magnitud de los defectos de la soldadura. Esto se realiza mediante una pequeña tira o banda de metal para cada exposición y taladrando orificios en la tira antes de la exposición; estas cintas metálicas sirven como guía para detectar defectos existentes dentro del 2 por 100 del espesor de chapa que está siendo soldada. Estos orificios se taladran con un calibre especificado de diámetro mínimo de 1/16" (1,58 mm). El método apropiado de colocación del penetrámetro se muestra en la Figura 7.9 de la página siguiente.

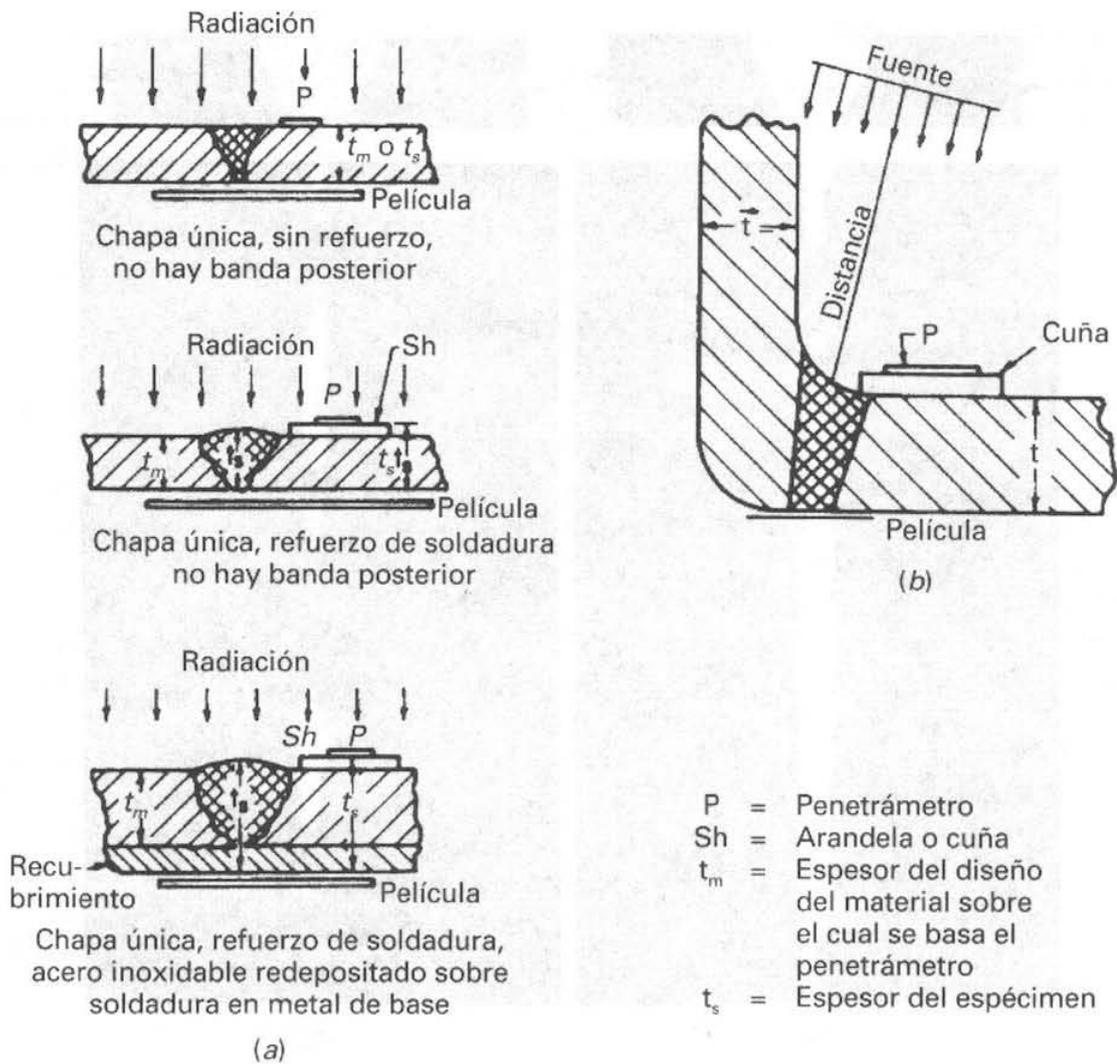


Figura 7.9. Penetrámetro y situación de la arandela o cuña en radiografía. (a) Para soldaduras a tope. (b) Para soldaduras tubulares.

Cuando se toma una radiografía de rayos X, el penetrámetro viene incluido en la misma y los orificios sirven como escala para detectar la magnitud de las faltas que la película recoge. Para comparar los orificios de un penetrámetro (chapita taladrada) con los orificios notados en una soldadura cuando la película se ha revelado, se ha incluido un patrón de comparación en cada película (chapita o fotografía de la misma). El Código estipula tolerancias para rechazar soldaduras basadas en los datos del penetrámetro.

Las calderas de potencia construidas según la Sección I del Código exigen que se radiografíen las piezas de caldera siguientes:

Fundiciones de acero (acero moldeado)

1. Si se va a utilizar un 100 por 100 de factor de calidad en las tensiones admisibles según las tablas del Código, todas las secciones críticas del acero moldeado, como pasos, compuertas, recrecimientos y cambios bruscos de sección con espesor de 4,5" (114 mm) o menos, deben ser radiografiados.

2. La fundición de acero que tenga un cuerpo mayor de 4,5" (114 mm) de espesor, exige que todas las partes o piezas de la fundición sean examinadas radiográficamente.

Juntas soldadas

1. Las juntas soldadas longitudinalmente requieren examen radiográfico en toda su longitud para las virolas o calderines de las calderas de potencia.
2. Las juntas soldadas circunferenciales de virolas o calderines requieren examen radiográfico si el espesor de la chapa excede de 1¹/₈" (28,6 mm).
3. Para tubos, tubuladuras y colectores, las juntas soldadas circunferenciales exigen examen radiográfico cuando:
 - a) Si contienen vapor, en tubos de más de 16" (406 mm) de diámetro nominal o espesores mayores de 1⁵/₈" (41,3 mm). Para los que contienen agua, más de 10" (254 mm) de diámetro nominal o más de 1¹/₈" (28,6 mm) de espesor. En ambos casos no existe contacto con los gases del hogar.
 - b) Si están en contacto con los gases del hogar, pero no con la radiación del mismo, más de 6" (152,4 mm) de diámetro nominal de tubo o más de 3/4" (14 mm) de espesor.
 - c) Si están en contacto con los gases del hogar y su radiación, más de 4" (101,6 mm) de diámetro nominal del tubo o más de 1/2" (12,7 mm) de espesor de pared.

Si los tubos tienen al menos cinco o más pasos o filas entre ellos y el hogar y si los tubos están en contacto con los gases del hogar que no excedan de 850 °F (454,5 °C), no se requiere radiografía de la soldadura.

Las indicaciones que mostradas sobre la radiografía son consideradas inaceptables por normativa comprenden:

1. Indicaciones de una grieta y zonas de fusión o penetración incompeteta.
2. Otras indicaciones alargadas que tengan longitudes mayores de las mostradas en la tabla siguiente:

Espesor de soldadura	Máxima longitud de la indicación (indicio)
Hasta 3/4" (19 mm)	1/4" (6,35 mm)
De 3/4" a 2 ¹ / ₄ " (57,2 mm)	1/3 del espesor de soldadura
Más de 2 ¹ / ₄ " (57,2 mm)	3/4" (19 mm)

3. Los indicios alineados no pueden tener una longitud agregada mayor del espesor de la soldadura en una longitud total de doce veces el espesor de la soldadura.
4. Los cuadros de porosidad de la Sección I se utilizan para comprobar si algún grupo de indicios alineados puede no ser aceptable.

La Sección I ahora exige que el personal que realiza pruebas NDT para un fabricante o contratista debe estar cualificado para la práctica recomendada SNT-1C-1A de la sociedad americana de pruebas no destructivas.

El Código exige de los aceros fundidos que tengan reparaciones que excedan 1" o el 20 por 100 del espesor de la sección, que pasen el examen radiográfico para estar seguros de que dicha reparación es satisfactoria. Como puede verse la técnica NDT se aplica a las reparaciones y no sólo a construcciones nuevas.

Pruebas y ensayos de partículas magnéticas. Estas pruebas se usan para detectar fallos superficiales por medio del establecimiento de un campo magnético o líneas de fuerza magnética, entre dos electrodos. Se rocía con un polvo magnético sobre el trabajo de prueba. El campo magnético afectará al polvo magnético y estas partículas se alinearán sobre un fallo, como se ve en la Figura 7.10. Pero la interpretación correcta de las concentraciones de polvo magnético requiere experiencia y práctica. La inspección por partículas magnéticas es un medio práctico de señalar discontinui-

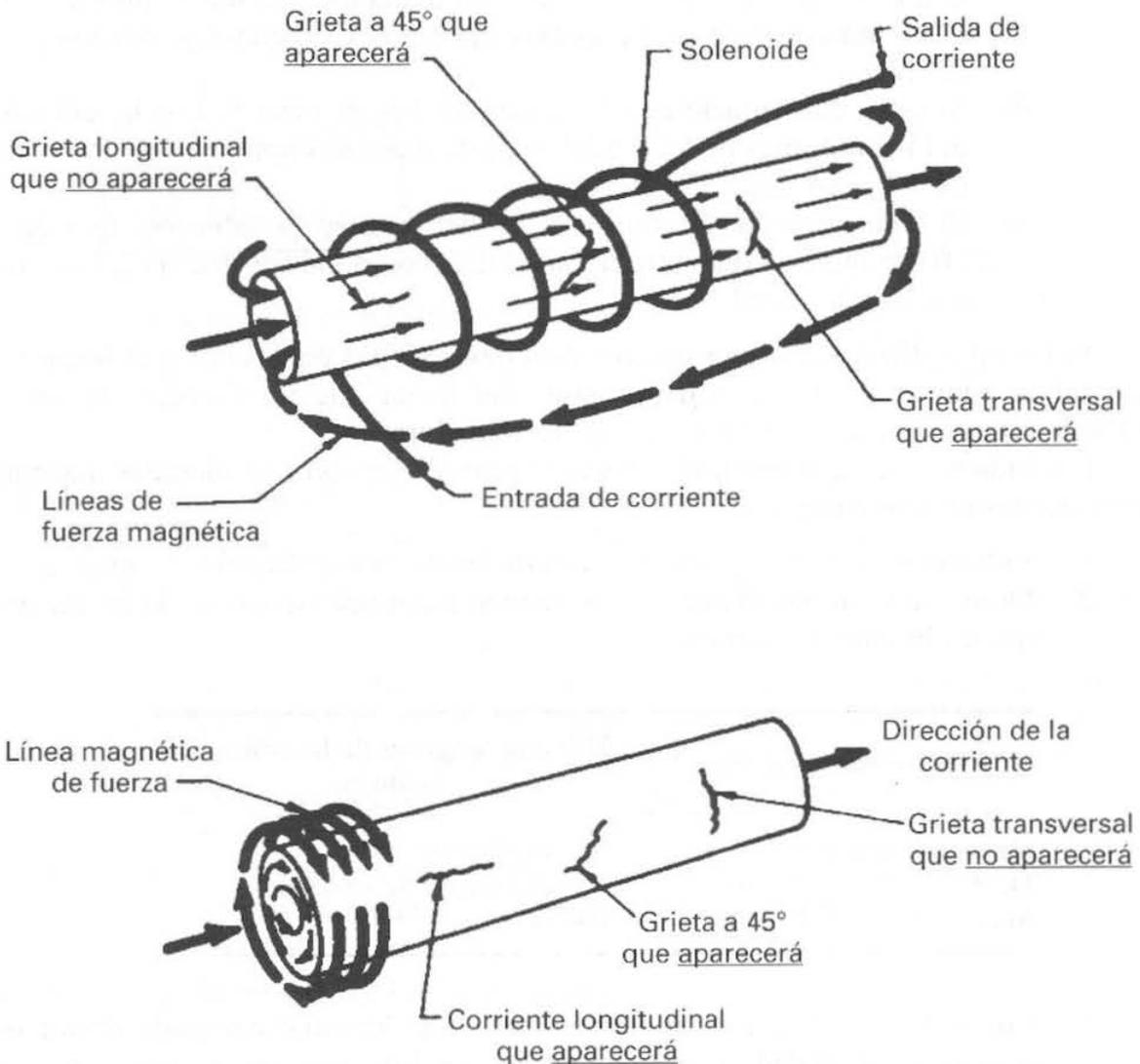


Figura 7.10. Inspección de partículas magnéticas. Las discontinuidades en material magnetizado desarrollan campos de fuerzas magnéticas localizadas. (Cortesía de Power magazine.)

dades de labio cerca de la superficie de una pieza. Tanto el método seco como el húmedo están disponibles en la actualidad.

Las discontinuidades en un material magnetizado hacen aflorar campos de fugas localizados. Y estos campos atraen a las partículas finamente divididas. Este último punto señala el defecto y marca su extensión sobre la superficie de la pieza sometida a inspección.

Ambos tipos de corriente, continua y alterna, se utilizan para magnetizar. La corriente continua (cc) es útil para encontrar discontinuidades bajo la superficie y se utiliza normalmente para inspeccionar soldaduras y fundiciones. La corriente alterna (ca) se emplea normalmente cuando se comprueban piezas mecanizadas de gran precisión y acabado fino.

Generalmente se considera la *magnetización de corriente continua* cuando se buscan defectos y roturas bajo la superficie. Con la corriente continua el campo magnético se extiende por el interior de la pieza, y los campos de fugas magnéticas se producen en la superficie por interrupción del camino magnético debajo de la superficie.

La *corriente continua de media onda* es un suministro práctico para defectos subsuperficiales, especialmente cuando la superficie exterior es basta como en las fundiciones o soldaduras. La corriente rectificadora de media onda proviene de una fuente de corriente monofásica de alta intensidad y baja tensión. La mayoría de los fabricantes de equipo industrial pesado utilizan estas pruebas para comprobar grietas o roturas en soldaduras y fundiciones. Las soldaduras pesadas de gran espesor pueden inspeccionarse varias veces durante la elaboración de la soldadura y después de cada pasada, si se desea.

Los polvos magnéticos secos se usan para los tipos más ligeros de inspección. Los polvos rojos, grises o negros dan el contraste necesario de color de la pieza que se está comprobando. Los polvos secos permiten una sensibilidad máxima para defectos profundos y grietas para la superficie.

La *técnica del método húmedo* usa una pasta mezcla de partículas magnéticas combinadas con aceite o agua. La pieza a inspeccionar bien se sumerge en la mezcla o bien la mezcla se extiende sobre la pieza. En el método seco, que es más sensible a defectos bajo la superficie, el polvo magnético se extiende por sopleo sobre la pieza a inspeccionar.

Para muchas aplicaciones, las partículas magnéticas son recubiertas con un material *fluorescente* y se usan en combinación con luz negra. Así, la indicación resultante reluce y es atractiva para el ojo. En efecto, esto incrementa la sensibilidad de la inspección.

La principal limitación del método de las partículas magnéticas es que se aplica sólo a materiales magnéticos y no es adecuado para unos defectos muy pequeños o situados muy profundamente. Cuanto más profundo está el defecto debajo de la superficie, más grande aparecerá. Los defectos superficiales son más fáciles de hallar cuando tienen una forma agrietada, como la de la falta de fusión en la soldadura. En objetos grandes y pesados, cuando se desea una inspección extremadamente sensible, la operación lleva más tiempo. Esto es cierto con piezas de tamaño medio crítico como hélices de aviones. Con las pruebas de partículas magnéticas, la superficie a inspeccionar debe estar disponible para el operario. Esto significa que los ejes u otros equipos no pueden inspeccionarse sin desmontar ruedas, poleas o alojamientos de cojinetes.

Las ventajas del ensayo de partículas magnéticas son muchas. La prueba de partículas magnéticas puede usarse sobre materiales de tipo magnético que son muy corrientes en productos industriales. Es un método positivo de encontrar todas las grietas superficiales. Y como estas grietas en las superficies son las más serias y pueden conducir a la rotura, es importante. El sistema es flexible y permite el uso efectivo de equipo portátil. El coste de equipo y horas de trabajo requeridas para la prueba resulta favorable en comparación con el método de inspección visual simple.

Inspección de líquidos (tintes) penetrantes. Este método de prueba se utiliza de modo algo parecido a las pruebas de partículas magnéticas, excepto que se usa principalmente sobre materiales no magnéticos. Pero puede utilizarse sobre material magnético. El tinte penetrante contiene un tinte visible, normalmente rojo. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas rojas o puntos contra el fondo blanco del revelador. Es principalmente un indicador de defectos superficiales y se utiliza como sigue: se aplica un tinte penetrante a la pieza en baño o inmersión, con brocha o espray y se le deja situarse durante algún tiempo. Después del tiempo apropiado de penetración, el exceso de líquido penetrante se elimina de la superficie y se aplica un revelador. El líquido penetrante queda atrapado en el defecto y se lleva a la superficie por la acción del revelador (véase la Figura 7.11). Las grietas se detectan al notarse el contraste entre el color blanco del revelador y el rojo del líquido penetrante.

Otro sistema de penetración utilizado es el método fluorescente penetrante que contiene un material que es fluorescente y brilla bajo una luz negra. Las indicaciones de los defectos aparecen como líneas fluorescentes o puntos contra el fondo no fluorescente.

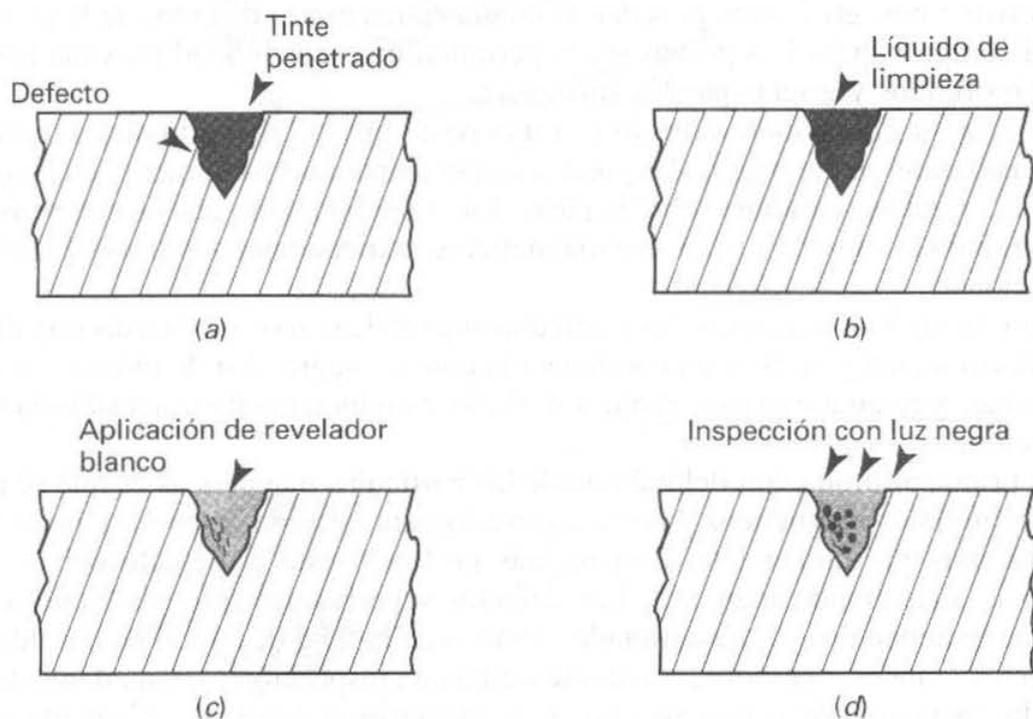


Figura 7.11. La inspección por líquido penetrante implica cuatro pasos para revelar un defecto: (a) se aplica un tinte rojo y se le permite penetrar en un defecto sospechado; (b) el exceso de tinte se elimina de la superficie; (c) se aplica un revelador blanco; (d) la inspección con luz negra muestra en rojo la situación del defecto.

Las ventajas del método de tinte penetrante son las siguientes: es de suministro rápido en el sistema de inspección de puntos durante una parada menor por períodos de cierre; el coste inicial de la prueba es relativamente bajo. Una superficie perfectamente blanca o tipo sábana indica que hay ausencia de grietas u otros defectos que estén abiertos a la superficie. Las desventajas son que no es práctico sobre superficies muy bastas o rugosas y que el color de contraste es limitado sobre algunas superficies. También que sólo detecta defectos abiertos a la superficie.

Inspecciones ultrasónicas. Las pruebas ultrasónicas hacen uso de ondas sónicas de alta frecuencia de 0,5 a 10,0 MHz para inspección del material en busca de grietas o defectos y para medir el espesor de chapa o pared. El principio básico utilizado en un sistema de ultrasonidos es la transformación de un impulso eléctrico en vibraciones mecánicas y después la retransformación de las vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos que puedan verse o mostrarse en una pantalla denominada pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT). La transferencia de energía mecánica a eléctrica se hace por medio de un transductor. Un transductor es un dispositivo que transforma energía de una forma a otra. Los transductores ultrasónicos transforman energía eléctrica de alta frecuencia en energía mecánica de alta frecuencia a través de elementos magneto-restrictivos hasta 100 kHz, y por encima de este rango suelen ser normalmente del tipo piezo-eléctrico. En el campo NDT ultrasónico, los transductores piezo-eléctricos se utilizan mucho. Los transductores piezo-eléctricos dependen de la dilatación o expansión y contracción de ciertos materiales cerámicos y cristalinos bajo el influjo de un campo potencial eléctrico fluctuante (oscilante). Si se aplica presión mecánica a ciertas capas de cristales específicos, se genera un potencial eléctrico a través de ellos que es proporcional a la presión aplicada; e inversamente un potencial eléctrico de frecuencia apropiado producirá una vibración del cristal y eso genera ondas de presión en un medio con el que está en contacto íntimo. La Figura 7.12 de la página siguiente muestra una disposición de una probeta en la que el cristal o transductores están montados para generar energía mecánica longitudinal (sonido) o angular en una pieza de prueba.

El componente básico de un típico impulso de detección de defectos es un impulso eléctrico corto generado y aplicado a los electrodos de la probeta, que convierte el impulso de eléctrico a energía de vibración mecánica. Este impulso ultrasónico viaja a través del material y una parte es reflejada a la probeta receptora mediante un reflector que puede ser la parte final del material sometido prueba por un defecto interno del mismo. El impulso que vuelve al receptor genera un pulso eléctrico que es amplificado y mostrado en la pantalla por un tubo de rayos catódicos (véase la Figura 14.19).

El tubo de rayos catódicos (CRT) es un componente familiar de un aparato de televisión. Se emplea en muchas aplicaciones para hacer visible cualquier onda que puede ser convertida en un chorro o haz de electrones. Para evaluar la información mostrada en la pantalla del tubo de rayos catódicos (CRT) debe seguirse una calibración técnica de modo que puedan compararse o captarse los defectos con relación a bloques de referencia externos. El objeto principal de estos bloques es:

1. Calibrar el instrumento para un tiempo base para ondas longitudinales o transversales.
2. Medir ciertas características de las probetas y del aparato.

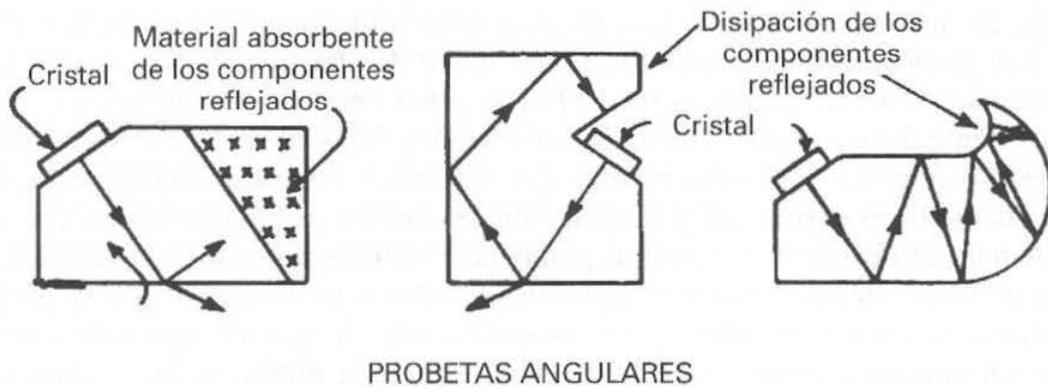
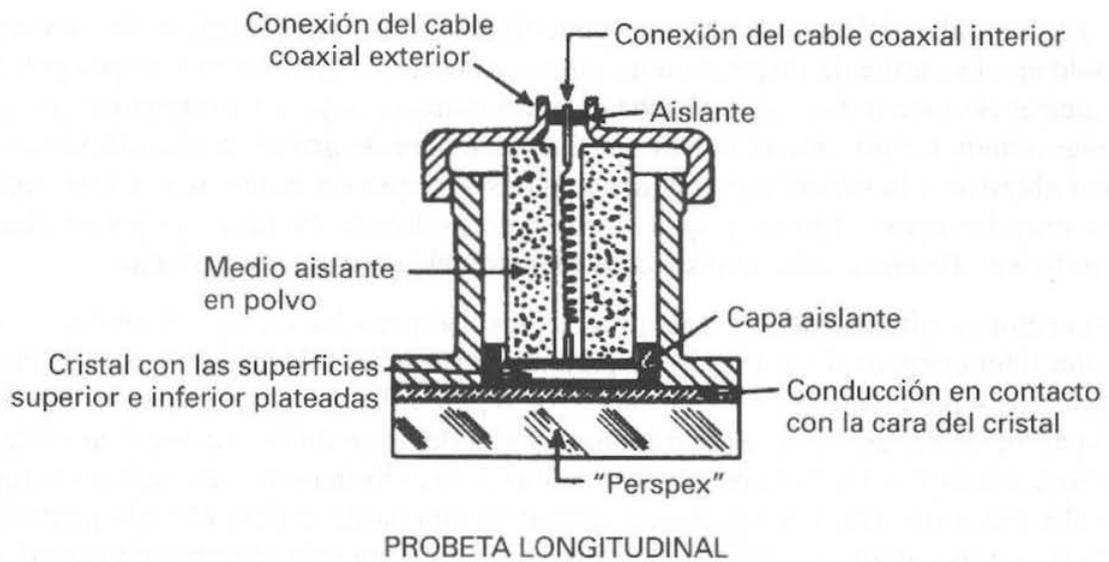


Figura 7.12. Detalles de probetas de cristal detectoras de ultrasonidos para sistemas de detección longitudinal y axial.

3. Ajustar la sensibilidad y comprobarla periódicamente para validarla y que permanezca constante a lo largo de una prueba.
4. Tener un procedimiento escrito de modo que los ajustes y calibrado puedan ser duplicados posteriormente.

Las pruebas ultrasónicas están agrupadas en tres categorías básicas: pruebas de impulso-eco, transmisión transversal y prueba de resonancia. El método del impulso y eco implica transmitir un impulso corto del sonido de alta frecuencia a través de la pieza que se está probando y después detectar unos ecos que se reciben de algún detalle constructivo como un agujero o defecto del material que implique separación o vacío de material suficientemente grande como para que el sonido no pueda transferirse a través de la interface. En operación, un pulso-eco unitario producirá, a través de un impulso eléctrico, un impulso corto de señal eléctrica de alta frecuencia. Ésta se transmite al transductor que es así forzado a vibrar, normalmente a su frecuencia de resonancia. La probeta debe acoplarse a la pieza a comprobar con aceite, agua, grasa o algún otro líquido. El tren de ondas sónicas viajará a través de la pieza a probar hasta encontrar alguna forma de discontinuidad o defecto. Esta interrupción del medio produce una reflexión de la onda sónica hasta el transduc-

tor-receptor. La energía de la vibración de la onda sonora obliga al transductor en movimiento a producir un impulso de eléctrico que se alimenta a un amplificador. La salida de este amplificador se recoge en un tubo de rayos catódicos que muestra las señales en una base de tiempo. Si se utiliza un amplificador lineal, la amplitud de los ecos de vuelta puede utilizarse como medida del área que produce la señal reflejada.

Las pruebas de resonancia hacen uso de un sistema ajustable de ondas continuo. Este método es empleado normalmente para medir pequeños espesores de paredes delgadas, hasta 2" ó 3" (de 50 a 75 mm). La resonancia del cristal se ajusta a la pieza sometida a prueba. En la práctica se oye un pitido agudo, incluso puede verse porque el circuito eléctrico está resultando eléctricamente. Con un calibrado adecuado pueden hacerse lecturas directas del espesor.

Los cristales se tallan para ondas longitudinales, superficiales o de cizalladura. Las ondas sónicas de alta frecuencia obedecen las mismas leyes físicas que las ondas luminosas y pueden ser reflejadas, refractadas, absorbidas y polarizadas. Usar un chorro o haz ultrasónico para escanear materiales acústicamente transparentes como el acero es análogo, utilizar un chorro de luz para escanear materiales transparentes como el agua o vidrio. Como la mayor parte de los equipos son portátiles, las pruebas ultrasónicas están bien adaptadas para aplicaciones de campo. Hay muchos instrumentos en el mercado que trabajan con batería y que son capaces de realizar muchas pruebas cualitativas.

Como con los métodos de prueba no destructivos, hay distintas ventajas e inconvenientes asociados con las pruebas ultrasónicas. Las ventajas de estas pruebas son:

1. Alta sensibilidad, permitiendo la detección de defectos minúsculos.
2. Energía penetrante, permitiendo la detección e inspección de secciones de gran espesor.
3. Precisión en la localización y medida del tamaño del defecto.
4. Rápida respuesta, permitiendo una inspección rápida.

Las desventajas de las pruebas ultrasónicas son que puedan estar limitadas por la geometría desfavorable de la pieza, como tamaño común, contorno, complejidad y orientación relativa del defecto; y la estructura del material, como el tamaño del grano, porosidad y contenido de inclusiones o precipitados finos dispersos.

Prueba de corrientes parásitas. El principio subyacente de las pruebas por corrientes vagabundas o parásitas es la medida de la impedancia del flujo electrónico en la pieza que está siendo probada. Las corrientes eléctricas débiles o corrientes parásitas son inducidas por una probeta que contiene bobinas inductoras y sensores. Cualquier cambio en la geometría de la pieza como un poro, grieta o adelgazamiento, afectará al flujo de las corrientes parásitas. Este cambio en el flujo de las corrientes parásitas será detectado por la bobina sensora en una banda, con una pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT) o ambos. La precisión de la caracterización del defecto detectado depende de la calidad de la norma utilizada al calibrar el instrumento de corrientes parásitas. Una pieza de tubería de material idéntico al de los tubos que se van a inspeccionar deberá utilizarse para hacer el calibrado. La norma deberá tener un rango de defectos similar a los esperados en los tubos que se van a comprobar.

Los ensayos por corrientes parásitas puedan detectar tubos que no pierden pero que pueden verse deteriorados como resultado de un adelgazamiento o debilitamiento, erosión o desgaste. Por comprobación periódica de los tubos y manteniendo un registro preciso, los cambios de tubos pueden ser convenientemente programados por anticipado durante períodos de mantenimiento y reposiciones de toda la planta, y no en base a las roturas que ocurren durante los turnos de producción. Las inspecciones de corrientes parásitas a partir del diámetro exterior de los tubos de intercambiadores permiten la detección de picaduras externas-internas, reducción de espesor, grietas, vacíos, inclusiones, desincrustación y carbonización. Estas condiciones pueden ser identificadas por probadores expertos y localizadas a lo largo de la pared de la tubería. La seriedad del defecto puede juzgarse a partir de los resultados por comparación con los defectos en un elemento normal (espécimen).

Emisión acústica. Cuando un material se dilata o estira, emite algún sonido, y colocando sensores sobre el material es posible captar estos sonidos. Se ha encontrado que los sonidos acústicos emitidos por la mayoría de los materiales están por encima del rango auditivo del oído humano estando generalmente por encima de 100 kHz. Esto hace posible su instrumentación para niveles de sonido por encima de la mayoría de las fuentes de ruidos espúreos que serán de frecuencias menores. Por ejemplo, si suponemos que existe el crecimiento de una pequeña grieta subcrítica en una sección de una pieza de acero de cierto espesor, a medida que la grieta se propaga hacia el exterior, los átomos se desplazan a una pequeña distancia en un tiempo muy corto. Este desplazamiento conduce a una onda transitoria de tensión elástica que viaja o se desplaza hacia fuera desde el área o extremidad de la grieta. Esta onda de tensión del material se denomina emisión acústica. Las extensiones o desgarros de las grietas muy grandes que se desplazan hacia la superficie pueden ser oídas. Sin embargo, colocando transductores sobre la superficie, puede detectarse la propagación de la grieta a medida que se desarrolla o progresa. Un sistema de emisión acústica monitorizado proporciona el medio de escanear de forma continua una pieza estructural cargada de los cambios en las emisiones acústicas en orden a detectar cualquier desarrollo de la grieta o defecto. Cuando una onda de tensión alcanza un transductor, se genera una señal eléctrica que puede presentarse para suministrar información acerca del elemento de emisión acústica. Detectando y procesando la información contenida en la emisión acústica de la onda de tensión, puede seguirse el crecimiento de la grieta y estudiarse en tiempo real cuando está ocurriendo. Los sistemas actuales incluyen adquisición de datos para evaluar la seguridad de las grietas. Estos datos son almacenados en un ordenador para un análisis real para referencia futura. Las emisiones acústicas tienen gran potencial en la monitorización continua de la presión crítica en recipientes para evitar la formación de grietas como las que existen en piezas o partes de energía nuclear, donde, a causa de los riesgos de radiación, el acceso para inspección puede estar restringido. Este método está todavía en etapa de desarrollo para aplicaciones semejantes.

Ensayos de pruebas y fugas. Éstos están considerados como pruebas NDT supuesto que los ensayos se mantienen dentro de los límites prescritos para evitar una deformación permanente. Una prueba hidrostática al 150 por 100 de la presión de

trabajo admisible se considera como no destructiva. Durante esta prueba se hacen inspecciones visuales de soldaduras, juntas y conexiones para detección de fugas, mientras se vigila la presión para ver cualquier bajada que podría indicar una fuga oculta.

Otras pruebas de fuga son las de emisión de burbujas, detección de fugas de halógenos (freones) y espectrómetros de masas.

Los exámenes no destructivos mientras una pieza de un equipo está todavía en servicio son un objetivo a desarrollar a largo plazo. Un desarrollo reciente se ha realizado para inspeccionar tubos de vapor a alta presión utilizando tomografía computerizada de rayos gamma que mide la transmisión de fotones. Cuando los fotones penetran en el material, algo de su energía transportada se convierte en luz a través de la excitación y ionización o por procesos de fluorescencia. La luz centra el efecto fotoeléctrico en un tubo fotomultiplicador (o efecto fotovoltáico en un dispositivo de estado sólido) que produce un impulso eléctrico medible proporcional a la energía de los fotones o rayos gamma incidentes. Un circuito discriminador detecta sólo aquellos rayos gamma que han sido transmitidos a través del objeto de ensayo, eliminando la detección de los fotones no deseados. Mediante la utilización del análisis por ordenador y programas especiales para la analítica del tubo catódico, se puede utilizar un mapa tridimensional para detectar grietas.

Habrán otros métodos de examen no destructivo desarrollados en este campo creciente rápidamente que trata de ayudar a nuestra habilidad y capacidad para inspeccionar por los limitados sistemas visuales.

Selección del método NDT. La amplia selección o abanico de métodos NDT requiere considerar la fortaleza y sensibilidad de cada método, y cuál puede ser el defecto que nos concierne. Frecuentemente habrá de ser utilizado más de un método NDT para hallar y evaluar discontinuidades. El examen e inspección NDT requiere una gran experiencia en el sistema a aplicar para detección de defectos. Esta experiencia especializada se detalla en SNT-TC-1A, «Práctica recomendada para cualificación y certificación del personal de técnicas no destructivas», publicada por la Sociedad Americana de Pruebas No Destructivas (ASNT). Son posibles tres niveles o grados de cualificación en cada uno de los métodos NDT previamente descritos. La persona de nivel 3 está más cualificada, lo que generalmente requiere no sólo conocimientos teóricos de los métodos NDT, sus ventajas, atajos y la interpretación de los resultados de las pruebas. Los códigos de calderas y recipientes a presión de ASME se refieren a la ASNT como fuente de detalles sobre cualificación y certificación de examinadores de técnicas NDT. El inspector del Código debe incluso estar seguro de que los procedimientos descritos pueden detectar las discontinuidades por el método NDT a utilizar que no son aceptables en la sección del Código según la cual se está construyendo la caldera o recipiente a presión. Por ejemplo, hay normas radiográficas en la Sección I que pueden diferir algo de las que implican a un recipiente a presión nuclear. El inspector «autorizado» que hace las inspecciones del Código revisará los resultados hallados por métodos NDT que están dentro de los límites permisibles por el Código. Una coordinación muy cercana es pues esencial entre el examinador NDT y el inspector autorizado.

SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Los detentadores del sello de ASME, como es la «S» de calderas de potencia, deben tener un sistema de control de calidad que demuestre que serán satisfechos todos los requisitos del Código sobre diseño, materiales, fabricación, examen NDT e inspección. El sistema de control de calidad por elementos debe estar por escrito, normalmente en forma de manual, pero con su utilización restringida para uso de gente ajena y sólo el inspector autorizado o persona que la ASME designe es quien revisará el proceso de detentadores del sello para merecerlo. El párrafo A-300 detalla los requisitos del control de calidad en la Sección I. Incluidos en lo descrito están: autoridad y responsabilidades para el control de calidad, carta de la organización mostrando cómo será llevado a cabo el control de calidad a través del taller del fabricante, cálculos y dibujos de diseño según el Código, procedimientos de control de materiales, métodos y procedimientos de inspección y examen de materiales, procedimiento de soldadura a seguir según el Código, exámenes no destructivos según el Código, tratamientos térmicos a aplicar, calibrado y procedimientos a seguir para tratar de equipos de medida y procedimientos de prueba de los equipos y registros a realizar y distribuir (informes de datos) y mantener según el Código.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

Soldadura

1. Cite algunos defectos dimensionales que puedan tener lugar en una junta soldada.

RESPUESTA: Los defectos dimensionales posibles en una junta soldada son:

1. Combado o torcedura de la chapa.
 2. Preparación incorrecta de junta o desalineado de la misma.
 3. Tamaño incorrecto de soldadura para el espesor de chapa a soldar.
 4. Perfil incorrecto de soldadura tal como solape, exceso de convexidad y exceso del refuerzo de soldadura.
 5. Dimensiones finales incorrectas.
2. Cite algunas discontinuidades estructurales típicas que puedan encontrarse en una junta soldada.

RESPUESTA: Las discontinuidades estructurales que pueden encontrarse en juntas soldadas son:

1. Porosidad.
2. Inclusión de escoria.
3. Inclusión de tungsteno.
4. Fusión incompleta.
5. Cortes interiores.
6. Grietas.
7. Irregularidades superficiales.

3. a) ¿Qué es soldadura eléctrica de arco?
b) ¿Cuáles son los metales padre o base?

RESPUESTA:

- a) Soldar dos piezas o partes de acero juntas, con la fusión llevada a cabo por calentamiento del metal por el arco eléctrico.
b) Los metales que se van a soldar.

4. ¿Cuál debería ser el estado o condición de los metales base en el momento de la soldadura?

RESPUESTA: Los metales deberán estar limpios y libres de grasa, suciedad, polvo, pintura u otras sustancias extrañas excepto una fina capa de aceite de limpieza o protección, si así está especificado.

5. ¿Qué precauciones deben tomarse por el soldador mientras suelda o por el inspector de soldadura mientras vigila el proceso de soldadura?

RESPUESTA: La cara y la nariz del soldador o inspector deberían estar cubiertas por una celada o salvacara. El vidrio de la careta debe estar oscurecido para proteger los ojos. El soldador también deberá llevar guantes para proteger las manos.

6. ¿Qué es mejor: el arco largo o corto?

RESPUESTA: El arco corto, porque hace una soldadura más pura, da mejor fusión y penetración y causa menos escorias en el metal fundido.

7. ¿Cómo debería ser retirada una soldadura condenada o en mal estado para permitir a la junta volver a ser soldada?

RESPUESTA: El material debería picarse o amolarse (con muela) para que aflore el metal bueno antes de rehacer la soldadura.

8. ¿Qué se entiende por los términos «mano adelantada» y «mano trasera» cuando se aplican a soldadura oxiacetilénica?

RESPUESTA: En la soldadura a mano adelantada, la llama de soldar se apunta en la dirección en la que progresa la soldadura. En la soldadura a mano trasera, la llama apunta a la dirección opuesta a la que se hace la soldadura.

9. ¿Qué se entiende por soldadura a tope doble y a tope simple?

RESPUESTA: En la soldadura a tope doble, el metal se deposita en el surco o garganta por ambos lados de la chapa, mientras que a tope simple, el metal se deposita desde un solo lado con las chapas a soldar juntas a tope en vez de solapadas una sobre la otra.

10. Después de que el primer lado de una soldadura a tope doble se ha realizado, ¿qué deberá hacerse en la junta antes de que sea soldado el segundo lado?

RESPUESTA: El segundo lado debe ser limpiado con amoladora para asegurar una superficie limpia de forma adecuada para que el segundo lado se suelde y se asegure una buena fusión del metal y agarre del mismo en este lado.

11. ¿Qué se entiende por refuerzo de una soldadura?

RESPUESTA: La cantidad de soldadura por encima de la superficie de la chapa en el lado de cara. Esto asegura una penetración total para todo el espesor de las chapas a unir.

12. ¿Por qué es una práctica común utilizar electrodos revestidos en la soldadura metálica de arco?

RESPUESTA: El revestimiento pone un escudo entre el arco y la atmósfera y produce una escoria que cubre la soldadura, lo que da al metal de la soldadura buena resistencia y ductilidad.

13. ¿Está permitida la soldadura a tope simple en la fabricación de calderines soldados para calderas?

RESPUESTA: No, a no ser que se utilice una banda o pletina trasera. Si se utiliza pletina trasera para asegurar la total penetración del metal soldado, la soldadura debe hacerse solamente desde un lado.

14. a) ¿Cuál es la elongación mínima aceptable al aplicar una prueba de flexión o doblado libre?
 b) ¿Cuántas series de chapas de prueba se exigen en una prueba de soldadores?
 c) ¿Cada cuánto tiempo son requeridos los soldadores para hacer las pruebas de cualificación?

RESPUESTA:

- a) El elemento será flexionado o doblado en frío hasta que la elongación o alargamiento mínimo medido en toda la soldadura y sobre sus fibras exteriores sea del 30 por 100 ó 700.0000 dividido por la tensión de rotura, U , más el 20 por 100, la que sea menor. Aquí, U representa la resistencia mínima última especificada del material a soldar, en libras por pulgada cuadrada, según las tablas del código de tensiones.
- b) Dos series, una prueba de flexión de cara y otra de flexión de la raíz, por cada espesor de material, posición y proceso de soldadura a utilizar. Véase la Sección IX del código ASME.
- c) Cuando un soldador no ha usado el proceso específico de soldadura como el proceso de arco, arco sumergido, etc., para soldar materiales ferrosos o no ferrosos por un período de seis meses o más, o cuando hay una razón específica para cuestionar la capacidad o habilidad del soldador para realizar soldaduras que cumplan las especificaciones.
15. ¿Qué soldaduras bajo las normas de la Sección I requieren examen radiográfico?

RESPUESTA: En calderas de potencia, las siguientes:

1. Para fundiciones de acero, si se va a aplicar un factor de calidad del 100 por 100, todas las secciones críticas brascas de más de 4,5" (114 mm) de espesor. Para fundiciones de acero de más de 4,5" (114 mm) de espesor, todas las piezas de fundición de acero.
2. Para juntas soldadas longitudinales de virolas o calderines, toda la longitud de soldadura.
3. Para juntas circunferenciales soldadas de virolas o calderines, para espesores de chapa superiores a 1,5".
4. Para soldaduras circunferenciales en tubos, tubuladuras o colectores:
 - a) Si contienen vapor y no están en contacto directo con los gases del hogar, para los de más de 16" (406 mm) de diámetro de tubo o más de $1\frac{5}{8}$ " de espesor (41,3 mm). Si contienen agua, 10" (254 mm) de diámetro nominal del tubo o más de $1\frac{1}{8}$ " (28,6 mm) de espesor.

- b) Si están en contacto con los gases del horno, pero no en contacto con la radiación del hogar, más de 6" (152,4 mm) de diámetro nominal del tubo o más de 3/4" (19 mm) de espesor.
- c) Si están en contacto con los gases y también con la radiación del hogar, más de 4" (102 mm) de diámetro nominal o más de 1/2" (12,7 mm) de espesor.
- d) Los tubos con más de cinco filas por detrás del hogar están excluidos como tubos que no están en el camino de paso de gases que no superen 850 °F (454,4 °C).

16. ¿Qué son tensiones residuales en soldadura? ¿Qué las produce?

RESPUESTA: Las tensiones residuales son aquellas tensiones internas remanentes en el metal soldado y material de base adyacente cuando una soldadura se ha realizado. Están producidas porque el metal de la soldadura y el material de base están por necesidad a temperaturas considerablemente diferentes cuando se realiza la soldadura y además no dilatan y contraen uniformemente, así que son asiento de tensiones internas debido a los efectos en la HAZ.

17. ¿Qué se entiende por disminución o desaparición de las tensiones residuales y cómo se puede conseguir?

RESPUESTA: La disminución de tensiones o tratamiento térmico post-soldadura es el calentamiento uniforme de una estructura o parte de ella (soldadas conjuntamente) a una temperatura justamente por debajo del rango crítico del metal. El objeto de la disminución o extinción de tensiones es descargar la mayor parte de las tensiones residuales que puedan existir en una junta soldada como consecuencia de los efectos térmicos del calor de la soldadura.

El Código especifica temperaturas de precalentamiento para los diferentes tipos de números P de metales que pueden soldarse. Generalmente la temperatura de precalentamiento está por debajo de 450 °F (232,2 °C). Las temperaturas de tratamiento térmico post-soldadura a aplicar a los diferentes tipos de metales están también especificadas en el Código por grupos de números P. Para aceros al carbono planos, ésta es generalmente de 1.100 °F (593 °C) a mantener una hora por pulgada de espesor de chapa.

18. ¿Qué es un proceso de soldadura «aprobado» o «calificado»?

RESPUESTA: Uno que ha sido descrito en detalle por escrito y seguido por la elaboración de las pruebas de chapa como se exige por el código ASME, cuando dichas pruebas de chapa han sido sometidas a pruebas especificadas en el Código y comprobado que cumplen los requisitos del mismo para la clase de trabajo a realizar. Esto incluye considerar el material (números P), espesor, proceso de soldadura, electrodos, posición del soldador y tratamiento térmico a aplicar.

19. ¿Qué significan los términos falta de fusión, falta de penetración e inclusiones de escoria? ¿Cómo se producen y cuáles deberían ser las condiciones para remediarlas?

RESPUESTA: Falta de fusión es la falta de fusión conjunta entre el metal base y el metal que está siendo depositado. Está causada por técnicas incorrectas de soldadura entre las cuales puede estar que el calor aplicado sea demasiado bajo a causa de una baja intensidad de corriente (amperaje), soldadura demasiado rápida (y movimiento), inadecuada preparación superficial y causas similares. Cuando se nota o descubre la falta de fusión, es necesario pasar la muela rotativa para sacar toda la soldadura y volver a soldar hasta conseguir la fusión del metal aportado con el metal base.

Falta de penetración significa que la soldadura o fusión de las chapas no se ha realizado en todo el espesor de la chapa, dejando parte de éstas sin unir. Está causada por una incorrecta preparación de la junta, una técnica pobre de soldadura o una preparación incorrecta de las superficies. Se corrige por amolado y limpieza hasta el metal base sano y relleno de toda zona con una soldadura de buena penetración según los requisitos del Código.

Inclusiones de escoria significa que hay material extraño en la soldadura, que puede debilitar la unión. Está producido generalmente por mala penetración de la junta por falta de limpieza al soldarla. Para corregirla, la zona afectada se sana con la muela rotatoria y se vuelve a soldar según los requisitos del Código.

20. ¿Qué es una banda posterior cuando se habla de soldadura? ¿Cuando una junta se suelda por un lado solamente, puede considerarse equivalente a una unión doble a tope?

RESPUESTA: Es una banda metálica normalmente del mismo material que el que está siendo soldado, de 1" (25 mm) a 3" (76 mm) de ancho y de 1/8" (3 mm) a 1/4" (6 mm) de espesor, colocada en la cara exterior de la junta o unión a soldar y capaz de posibilitar al soldador la penetración de toda soldadura a través del espesor completo de la chapa o tubo y evitar el goteo del material fundido. La soldadura por un solo lado puede considerarse una doble junta cuando se alcanza penetración completa y refuerzo en ambos bordes mediante el uso de una banda posterior o anillo de enfriamiento.

21. ¿Cuál es la máxima desviación permisible de los bordes a tope de las uniones soldadas en cualquier punto y en juntas cinchadas?

RESPUESTA:

Espesor de chapa, T	Máxima desviación permitida	
	Longitudinal	Circunferencial
Hasta 1/2" (12,7 mm) inclusive.	1/4 T	1/4 T
Más de 1/2" (12,7 mm) hasta 3/4" (19 mm) inclusive.	1/8" (3,2 mm)	1/4 T
Más de 3/4" (19 mm) hasta 1 1/2" (38 mm) inclusive.	1/8" (3,2 mm)	3/16" (4,76 mm)
Más de 1 1/2" (38 mm) hasta 2" (50 mm) inclusive.	1/8" (3,2 mm)	1/8 T
Más de 2" (50 mm).	Menos de 1/16 T o 3/8" (4,8 mm)	Menos de 1/8 T o 3/4" (19 mm)

22. ¿Qué preparativos han de efectuarse antes de la unión por soldadura tope de una brida de cabeza a 7/8" (22,22 mm) con una chapa de virola de 1/2" (12,7 mm)? ¿Por qué son necesarios estos preparativos?

RESPUESTA: Una transición 3 a 1 se necesita hacer en la chapa más gruesa con el objeto de evitar la concentración de tensiones en la sección de transición entre las chapas de espesor desigual.

23. Un calderín de caldera de 5" (127 mm) de espesor tiene una junta soldada longitudinal. ¿Cuál es la temperatura máxima bajo la cual puede ser rebajada de tensiones residuales y por cuánto tiempo?

RESPUESTA: Al menos 1.100 °F (593,3 °C) en un período de cinco horas si suponemos que el material tiene un número P bajo.

24. ¿Tiene un inspector autorizado algún derecho a estar en desacuerdo con los registros del fabricante y a requerirlo para una recualificación de un soldador o a tener realizados los ensayos físicos de soldadura?

RESPUESTA: Si el inspector tiene alguna duda concerniente la capacidad o habilidad de un soldador o del proceso, puede requerir o exigir una prueba de recualificación del proceso o del soldador.

25. ¿En qué posición deben estar las chapas de prueba cuando un soldador realice pruebas de soldadura con el objeto de recualificarse?

RESPUESTA: En cualquier posición que el soldador pueda encontrarse en su trabajo real. Si el soldador hace el ensayo de chapas en una posición horizontal o plana, no le estará permitido hacer el trabajo en otra posición distinta, como vertical o soldar «por encima de la cabeza».

26. a) ¿Es admisible situar un agujero en una junta soldada?
b) ¿Está permitido laminar y expansionar tubos en los agujeros situados en una junta soldada?

RESPUESTA:

- a) Sí, supuesto que un examen de partículas magnéticas indique que la soldadura es consistente y correcta después de hacer el agujero.
b) Sí, lo mismo que en la sección a).

27. ¿Cuándo está disponible un soldador no cualificado para efectuar una soldadura de reparación de caldera? ¿Qué dos principios determinan el tipo de reparación que puede hacerse?

RESPUESTA: 1) la resistencia de la caldera no será dependiente de la soldadura. 2) El efecto del calor de la soldadura y las tensiones residuales remanentes no serán obstáculo ni detrimento.

28. ¿Cuál es la longitud máxima permitida de una pasada en una construcción remachada o soldada de caldera horizontal?

RESPUESTA: 12 pies (3,6 m).

29. a) ¿Pueden las juntas remachadas longitudinales de calderas viejas ser hermetizadas mediante soldadura?
b) ¿Pueden las juntas circunferenciales ser selladas por soldadura?
c) ¿Cuando se hacen reparaciones para calafatear los bordes de las soldaduras con pletina, qué precauciones deberían tomarse con respecto al remachado?

RESPUESTA:

- a) No.
b) Sí.
c) Los remaches deberían ser retirados y los agujeros revisados después de la soldadura y deberían colocarse nuevos remaches. Esto es para evitar que los remaches al ser distorsionados por el calor de la soldadura puedan romperse. Consultar con el inspector de jurisdicción para su aprobación.

30. Describa brevemente la necesidad de la prueba hidrostática y otras pruebas físicas para aplicarse a un calderín soldado de caldera o recipiente antes de su aprobación.

RESPUESTA: Las uniones soldadas en calderines de caldera debe ser radiografiadas por secciones del calderín según especifica el Código, así como tratadas térmicamente para eliminar tensiones residuales de la soldadura. Se exige una prueba hidrostática después de que la caldera esté terminada, con agua a temperatura no menor de 70 °F (21 °C). La presión se aplicará gradualmente hasta 1,5 veces la máxima presión admisible marcada o estampada sobre la caldera. El control de la presión debe ser tal que la prueba de presión nunca exceda más del 6 por 100. La caldera debe examinarse cuidadosamente para detectar fugas cuando la presión se baje al máximo permisible grabado sobre la caldera.

31. a) ¿Quién es responsable de realizar las pruebas de los procedimientos de soldadura y de cualificación de los soldadores?
 b) ¿Cuánto tiempo permanece en vigor la prueba de aprobación de un soldador?
 c) ¿Quién conserva los registros de las calificaciones de procedimientos y de aprobación y aceptación del soldador?

RESPUESTA:

- a) El fabricante es responsable de las pruebas, sujetas a la aprobación del inspector.
 b) Indefinidamente, si se utiliza regularmente y se emplea en el mismo tipo de soldadura, espesor y material.
 c) El fabricante.

32. ¿Qué significa precalentamiento y eliminación de tensiones residuales?

RESPUESTA: Precalentamiento es la aplicación de calor al metal de base antes de la operación de corte o soldadura. La eliminación de tensiones o tratamiento térmico después de la soldadura es el calentamiento uniforme de una estructura o de partes de la misma (por ejemplo, juntas soldadas) a una temperatura justo por debajo del rango crítico del metal. El propósito de la descarga de tensiones es descargar o eliminar la mayor parte de todas las tensiones residuales que puedan existir en una junta o unión soldada de los efectos térmicos causados por el proceso de soldadura.

33. ¿Qué temperatura debería usarse si se encuentra necesario precalentar y eliminar tensiones de soldadura de un acero de bajo contenido de carbono?

RESPUESTA: El Código especifica temperaturas de precalentamiento para los diferentes tipos de metales según sus números P. Generalmente, la temperatura de precalentamiento está por debajo de 450 °F (23 °C). Las temperaturas del postratamiento de la soldadura a aplicar a los diferentes tipos de metales están también especificadas en el Código por grupos de números P. Para chapas planas de aceros al carbono, ésta es generalmente de 1.100 °F (593 °C) a mantener durante una hora por cada pulgada (25 mm) de espesor de chapa.

34. a) ¿Qué se entiende por una prueba no destructiva de una junta soldada? Dar algunos ejemplos típicos.
 b) ¿Qué podría causar el rechazo de una pieza de prueba de soldadura?

RESPUESTA:

- a) Una prueba que no destruye el componente o pieza de caldera, como lo son las pruebas radiográficas, hidrostáticas, de ultrasonidos, de tinte penetrante y partículas magnéticas.

b) Porosidad, falta de penetración, inclusiones de escoria y grietas en la superficie de soldadura o cualquier otro defecto que no cumpla con los requisitos del Código.

35. Señale los requisitos esenciales que deben cumplir para ser permitidas las soldaduras de tubería o conexiones de tubo que no requieran examen radiográfico o prueba de golpeo con martillo.

RESPUESTA: Si el procedimiento y el soldador han sido cualificados según los requisitos del Código, las juntas circunferenciales soldadas sobre tuberías no requieren examen radiográfico supuesto que:

1. Si van a contener vapor, el tubo o cilindro no tiene más de 16" (406 mm) de diámetro nominal y no más de $1 \frac{5}{8}$ " (41,3 mm) de espesor de chapa. Si va a contener agua, no más de 10" (254 mm) de diámetro nominal del tubo o cilindro y no más de $1 \frac{1}{8}$ " (28,6 mm) de espesor. En ambos casos, no están en contacto con los gases del hogar.
2. Si están en contacto con los gases del hogar, pero no con su radiación, no más de 6" (152,4 mm) de diámetro nominal del tubo o más de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) de espesor. Si están en contacto con los gases del hogar y con la radiación, no más de 4" (101,6 mm) de diámetro nominal del tubo y no más de $\frac{1}{22}$ " (12,7 mm) de espesor.
3. Si los tubos tienen cinco o más filas entre ellos y el hogar y los tubos están en contacto con los gases del hogar que no excedan de 850 °F (454 °C), no se requiere examen radiográfico.

Pruebas no destructivas

36. Defina la vida media de un isótopo.

RESPUESTA: El termino vida media se refiere al decrecimiento en intensidad de la radiación de un isótopo; la vida media es el número de años que pasan para que el isótopo disminuya un 50 por 100 su actual intensidad (tiempo de referencia).

37. Si un isótopo tiene una intensidad de 80 curios (Ci), ahora con una vida media de 10 años, ¿cuál será su intensidad en 30 años?

RESPUESTA: Al final de 10 años, la intensidad será de 40 Ci. Al final de 20 años, la intensidad será de 20 Ci. Al final de 30 años la intensidad será de 10 Ci.

38. Nombre dos medios de medida que se utilicen para comprobar la dosis acumulativa en un individuo expuesto.

RESPUESTA: Los dosímetros de bolsillo y las placas de película se usan para comprobar la dosis acumulativa de un individuo.

39. a) ¿Cómo se tara el nivel energético de una maquina de rayos X?
 b) ¿Qué penetra mejor en un material, las ondas cortas o las ondas largas?
 c) ¿La tensión eléctrica alta o baja produce ondas cortas?

RESPUESTA:

- a) El nivel de energía de una maquina de rayos X se tara por el voltaje o tensión de punta (o pico) al cual emiten los electrones en el tubo-placa (de señal) y se expresa como sigue: kVP = kilovoltios pico (1.000 V) y MV = megavoltios (1 millon de voltios).

b) y c) Las ondas cortas tienen gran poder de penetración y las grandes tensiones de la fuente de radiación producen ondas de longitudes más cortas; por tanto, la alta tensión tiene mayor poder de penetración.

40. a) Cite dos factores que controlen el contraste en radiografía.
b) Cite los dos tipos principales de pantallas usadas en radiografía.

RESPUESTA:

- a) La tensión eléctrica o nivel energético de la fuente de radiación a que la radiografía estará sometida y el tipo de película usado.
b) Fluorescente y de hoja de plomo.

41. a) Nombre dos fuentes de radiación permitidas para examen radiográfico en el Código de calderas.
b) ¿Qué película se usará para examen radiográfico de calderas de potencia?

RESPUESTA:

- a) Rayos X e isótopos radiactivos.
b) La película tipo 4 puede permitirse para calderas así como también de tipo 2, como se especifica en la Sección V del Código.

42. ¿Qué debe aparecer en una imagen radiográfica para probar la técnica y sensibilidad de un examen radiográfico?

RESPUESTA: La imagen radiográfica debe aparecer y mostrar el penetrámetro y el orificio especificado en el penetrámetro para probar que la técnica utilizada fue de la sensibilidad apropiada. Adicionalmente, las radiografías deberían mostrar el número identificativo y letras de forma que se puede trazar o marcar la zona radiografiada.

43. a) ¿Cuál es el propósito de un penetrámetro? ¿Qué es la sensibilidad del penetrámetro?
b) ¿De qué tipo de material deberían estar fabricados los penetrámetros cuando vayan a usarse para radiografiar soldaduras?

RESPUESTA:

- a) El penetrámetro se usa para obtener evidencia en una radiografía de que la técnica utilizada al exponer una soldadura a la radiografía mostrará ciertos defectos mínimos considerados aceptables, pero mostrará defectos considerados inaceptables para los requisitos del Código. La sensibilidad del penetrámetro se refiere a la calidad de la imagen y al más pequeño orificio o agujero que puede ser «detectado» o visto; por otra parte, es una medida de la menor o mínima discontinuidad que puede medirse u observarse por radiografía sobre un espesor determinado de metal.
b) Los penetrámetros deberían fabricarse de un material radiográficamente similar al de la pieza u objeto que está siendo inspeccionado.

44. ¿Por qué los anillos o juntas en anillo no consumibles del lado de agua de las soldaduras no son recomendables?

RESPUESTA: La grieta formada por la pieza o componente de la caldera y el retroanillo puede originar corrosión y desarrollar una grieta que puede, a su vez, originar un fallo o rotura prematura de la pieza de la caldera. Esto es especialmente aplicable a los anillos usados sobre el diámetro interior de los tubos.

45. a) ¿Dónde se colocan normalmente los penetrámetros en relación con la soldadura y la fuente de radiación?
b) Si el penetrámetro está colocado sobre la película del lado de la soldadura, ¿cómo se identifica?

RESPUESTA:

- a) Los penetrámetros se colocan normalmente adyacentes al lugar de la soldadura y del lado de la fuente del lugar a radiografiar.
b) Debe colocarse una letra «F» guía al menos situada tan alta como el número de identificación y adyacente al penetrámetro para aquellos casos donde el penetrámetro se coloque del lado de la película, y no del lado de la fuente.

46. ¿Cuál debe ser el diámetro del agujero en un penetrámetro en relación al penetrámetro t ?

RESPUESTA: Es $2t$ o el doble del espesor del penetrámetro, excepto para penetrámetros inferiores a 0,010" (0,254 mm) de espesor, donde el diámetro del orificio debe de ser de un mínimo de 0,020" (0,508 mm).

47. a) ¿Por qué es necesario eliminar las ondulaciones o rugosidades de la soldadura cuando ésta va a radiografiarse?
b) Liste algunos típicos defectos que deben evitarse en la película radiográfica.

RESPUESTA:

- a) Es necesario eliminar irregularidades de las superficies soldadas de forma que ninguna imagen radiográfica tomada de la soldadura enmascare, oculte o de otro modo dificulte la identificación de alguna discontinuidad inaceptable que pueda aparecer sobre la imagen radiográfica.
b) Las radiografías deben estar libres de los siguientes defectos de modo que las discontinuidades puedan aparecer adecuadamente identificadas: velado (nebuloso), rayados, marcas de agua, manchas, arañazos o rasguños, marcas de dedos, rizaduras, polvo, tiznados, rasgaduras y pérdidas de detalle sobre la imagen.

48. ¿Qué dos imperfecciones en una soldadura se consideran inaceptables por el Código y aparecen en la película radiográfica?

RESPUESTA: Cualquier tipo de grieta o zona de fusión incompleta o penetración se considera inaceptable.

49. ¿Cuánto tiempo debe retener un fabricante de calderas las radiografías tomadas a una caldera?

RESPUESTA: Un conjunto de radiografías tomadas a una caldera deben guardarse por el fabricante, al menos, durante cinco años.

50. a) ¿A qué tipo de materiales puede aplicarse los exámenes de partículas magnéticas?
b) ¿En las pruebas de partículas magnetizadas, cuál es el máximo espacio permitido?
c) En las pruebas de partículas magnéticas, ¿cuál es la dirección del campo magnético en relación al flujo de corriente?

RESPUESTA:

- a) Sólo materiales ferromagnéticos.
b) Un máximo de 8" (203 mm).
c) A ángulos rectos, o sea perpendiculares al flujo de corriente.

51. a) ¿Cuándo se obtienen los mejores resultados en la inspección por partículas magnéticas, cuando el campo es paralelo a la discontinuidad o cuando el campo magnético es perpendicular a las discontinuidades? b) Diferenciar o describir las diferencias entre el método continuo y el método residual, cuando se usan en la inspección por partículas magnetizadas.

RESPUESTA:

- a) Los mejores resultados se obtienen en una inspección de partículas magnéticas cuando el campo magnético es paralelo a la discontinuidad, cuando el campo magnético es perpendicular a la discontinuidad, cuando la corriente eléctrica magnetizante está fluyendo paralela a la discontinuidad.
- b) En el método continuo, el polvo seco se aplica a la superficie del trabajo sometido a prueba mientras la corriente magnetizante está fluyendo. En el método residual el polvo se aplica a la superficie de trabajo después de que la corriente magnetizante ha sido desconectada. Este método requiere que el trabajo o pieza retenga el magnetismo, mientras el método continuo puede utilizarse sobre un material que tenga baja resistividad magnética.
52. ¿Cuántos exámenes de partículas magnéticas se requieren de la zona a examinar en una pieza sometida a pruebas?

RESPUESTA: Al menos dos exámenes separados serán llevados a cabo en cada zona. El segundo test producirá líneas de flujo magnético aproximadamente perpendiculares a las del primer test. Esto es necesario para detectar discontinuidades que pueden ser paralelas al campo magnético y así no visibles si sólo se realiza una prueba.

53. Cite los tres tipos de penetrantes reconocidos por el Código al realizar exámenes con líquidos penetrantes.

RESPUESTA: Lavables con agua, post-emulsionantes y eliminables con solventes.

54. ¿Cómo trabaja el líquido penetrante de modo que pueda utilizarse para exámenes de discontinuidades?

RESPUESTA: El examen por líquido penetrante se usa para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie de materiales no porosos. Un líquido denominado penetrante se aplica primeramente a la superficie de la pieza a examinar. El líquido penetrante se deja durante algún tiempo de modo que pueda entrar por cualquier poro o discontinuidad (grieta). Después se retira con un paño el líquido sobrante. Un agente secador se aplica a la superficie. Finalmente, se rocía un revelador sobre la pieza. Cualquier líquido penetrante atrapado en la discontinuidad por debajo de la superficie humedecerá el revelador de forma que se adhiere y así expone la discontinuidad, lo que es necesario para evaluar la discontinuidad y ver si es aceptable o al contrario rechazable a no ser que se repare.

55. ¿Cuáles son los líquidos penetrantes del tipo A y B utilizados en la inspección por líquidos penetrantes?

RESPUESTA: El tipo A usa penetrante fluorescente, mientras que el del tipo B utiliza un tinte penetrante visible para el ojo humano.

56. Nombre los dos tipos de principios ultrasónicos utilizados en pruebas no destructivas para piezas o partes de recipientes a presión.

RESPUESTA: El primer tipo de principio ultrasónico utilizado en pruebas no destructivas es el de impulso eco. En este sistema, los impulsos sónicos se envían a través del material, y cualquier superficie refleja el eco de este sonido. Las señales se transmiten a una pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT) y, con un ajuste adecuado, el principio del eco se usa para detectar defectos en la interfaz de los materiales que producen ecos.

El segundo principio ultrasónico utilizado en pruebas ultrasónicas es el principio de la resonancia. En este sistema, la frecuencia del sonido de un instrumento se varía hasta que alcanza el material sometido a prueba o que está en resonancia con él. Mediante principios de circuitos eléctricos y electrónicos, la frecuencia resonante puede convertirse en medida del espesor del material sometido a prueba. Ésta es la aplicación principal para instrumentos de sonido con efecto resonante (ultrasónicos).

57. a) ¿Qué método de examen ultrasónico de soldaduras está permitido por el Código?
b) ¿Cuándo es permisible utilizar el examen por ultrasonidos en uniones soldadas, en calderas de potencia?

RESPUESTA:

- a) Los exámenes ultrasónicos deberán ejecutarse con un sistema del tipo impulso eco con rangos de frecuencia entre 1 a 5 MHz.
b) Cuando es impracticable usar una combinación de parámetros radiográficos de modo que una fisura o precisión geométrica de 0,07 no sea excedida, entonces el examen ultrasónico deberá usarse para comprobar las soldaduras y zonas afectadas térmicamente de estas uniones que precisen examen radiográfico por las normas de la Sección I del Código.
58. Describa cómo deben prepararse las superficies siguientes para el examen ultrasónico:
a) superficies de contacto, b) superficies soldadas y c) material de base.

RESPUESTA:

- a) Las superficies de contacto afinadas deberán estar libres de salpicaduras y de toda aspereza que pueda interferir con el movimiento libre de la unidad investigadora o dificultar la transmisión de vibraciones ultrasónicas.
b) Las superficies de soldadura acabadas, donde sean accesibles, serán de la adecuada finura para evitar interferencias con la interpretación del examen. La superficie de soldadura se unirá suavemente en las superficies del material base adyacente.
c) Después de que la soldadura esté completada, pero antes del examen por haz angular, el área o zona del material base a través del cual viajará el sonido en el examen mediante haz angular, deberá estar completamente escaneada con una unidad de haz angular recto para detectar reflectores que afectarán la interpretación de los resultados del haz angular. Deben tenerse en cuenta estos reflectores durante la interpretación de los resultados del examen de la soldadura, pero su detección no es causa para rechazar el material base.
59. a) Cite tres tipos de ondas usadas en inspecciones ultrasónicas.
b) ¿Qué significa el termino CRT aplicado a las pruebas ultrasónicas?
c) ¿Qué labor realiza un elemento piezoeléctrico aplicado a pruebas ultrasónicas?

RESPUESTA:

- a) Ondas penetrantes rectas, ondas de haz angular y ondas superficiales.
b) Tubos de rayos catódicos. Éste es un tubo en el que aparecen las señales ultrasónicas. Si está ajustado adecuadamente, mostrará «bips» mientras el sonido penetre y saltos cuando haya una falta o una superficie opuesta.

- c) El elemento piezoeléctrico es un cristal cuidadosamente fabricado que tiene la propiedad de convertir señales eléctricas en vibraciones mecánicas o señales sónicas. Los cristales también tienen capacidad inversa, principalmente de convertir vibraciones o señales sónicas en señales eléctricas.

60. a) ¿Qué frecuencia nominal deberá utilizarse para calibrar por el método ultrasónico de haz angular?
 b) ¿Qué se considera la respuesta de referencia primaria de un impulso eco usando el método del haz angular cuando se está calibrando un equipo de ultrasonidos?
 c) Defina el método de transferencia ultrasónica usado para correlacionar la respuesta del bloque de calibración básica y del material de producción cuando se utiliza el método del haz angular.

RESPUESTA:

- a) La frecuencia nominal será de 2,25 MHz a no ser que una variable, como la estructura del grano del material producido, requiera el uso de otras frecuencias para asegurar la penetración adecuada.
 b) El 75 por 100 de toda la pantalla del tubo de rayos catódicos.
 c) Los métodos de referencia se usan para correlacionar o comprobar la respuesta del bloque de calibración básica y del componente a examinar. Las lecturas se toman sobre el bloque de calibración y las diferencias en lecturas del componente sometido a prueba y del bloque de referencia se corrigen recalibrando el instrumento.
61. a) ¿Cuando uno está examinando soldaduras por el método de ultrasonidos, qué servirá como reflectores básicos de calibración y cuáles son los requisitos del material para estos reflectores de calibrado?
 b) Al examinar soldaduras ultrasónicamente por el método del haz angular, ¿cómo debe utilizarse el método de transferencia para comprobar la técnica sobre recipientes soldados y tubos soldados?

RESPUESTA:

- a) Los agujeros u orificios taladrados, se usarán como reflectores básicos de calibración, y estos agujeros deben localizarse en el metal base o exterior del mismo o pueden localizarse en un bloque de calibración de estructura metalúrgica similar a la del material que está siendo soldado.
 b) Para recipientes, el método de transferencia debe utilizarse al menos una vez por cada 10 ft (3 m) de soldadura o menos por chapa, y será llevado a cabo al menos dos veces por cada tipo de unión soldadura. Para tuberías, el método de transferencia debe utilizarse, como mínimo, una vez por cada parte soldada en tubos de 10" (254 mm) de diámetro y mayores y una vez por cada 5 ft (1,5 m) de soldadura para tubos menores de 10" (254 mm) de diámetro.
62. a) ¿Quién tiene la responsabilidad de preparar un informe de examen por ultrasonidos para calderas de potencia?
 b) ¿Qué información deberá contener el informe del examen por ultrasonidos?
 c) ¿Qué longitud mínima de discontinuidad no está permitida por el Código sobre soldaduras examinadas por el método ultrasónico y cuando la chapa base a soldar es de 3" (76,2 mm) de espesor?

RESPUESTA:

- a) El fabricante de calderas.

- b) 1) Todos los procedimientos y equipos estarán identificados suficientemente para permitir duplicación de los exámenes en fecha posterior. Esto incluirá datos para la calibración inicial del equipo y cualquier cambio significativo en subsiguientes comprobaciones. 2) Un dibujo o croquis indicando la/s soldadura/s examinada/s, el ítem o número de pieza y la identificación del operador que ha llevado a cabo cada inspección o pieza requerida. 3) Un registro de zonas reparadas será guardado, así como también los resultados del reexamen de las zonas reparadas.
- c) Las discontinuidades con longitud de $3/4''$ (19 mm) o más para espesores de chapa de más de $2\ 1/4''$ (57,2 mm).

63. a) En el examen ultrasónico de fundiciones por el método del haz angular, ¿con qué frecuencia se debe utilizar el método de transferencia para controlar el calibrado del instrumento?
- b) ¿Cuándo se deben usar ambos métodos el del haz angular y el del haz recto el examen ultrasónico de juntas soldadas?
- c) ¿Cuándo deben utilizarse bloques planos de calibración básica para calibrar instrumentos ultrasónicos que se utilizan al examinar soldaduras circunferenciales en superficie de contacto curvas?

RESPUESTA:

- a) El método de transferencia será utilizado para comprobar calibres contra el calibre «estándar» al menos cada media hora.
- b) Si la geometría de la junta soldada no hace posible realizar el examen por el método del haz angular por ambos lados de una soldadura en una sola superficie o combinación de superficies, deben usarse ambos métodos, el del haz angular y el del haz recto, para examinar la unión o junta soldada.
- c) Para superficies en contacto con curvaturas mayores de $20''$ (508 mm) de diámetro, deben usarse bloques planos de calibración básica o bloques de la misma curvatura de la pieza a examinar.

64. a) Cite los dos tipos de campos eléctrico y magnético que a una pieza bajo examen pueden aplicarse cuando está siendo probada por corrientes parásitas.
- b) Describa el término inductor cuando se aplica a la prueba corrientes parásitas.
- c) Cuando se aplican las pruebas de corrientes parásitas, ¿cómo son alteradas la magnitud y la dirección de las corrientes parásitas inducidas?

RESPUESTA:

- a) El efecto de las corrientes parásitas sobre la pieza que está siendo probada puede ser inducir corrientes electromagnéticas y, si el material es magnético, inducir o asentar campos magnéticos.
- b) El inductor es una bobina electromagnética que es operada en corriente alterna y que se posiciona cerca del artículo sometido a prueba y que, cuando está energizada, induce corrientes parásitas, es sede de campos magnéticos o ambos casos a la vez en la pieza sometida a examen.
- c) La magnitud y dirección de las corrientes inducidas son alteradas por las discontinuidades del metal que está siendo sometido a prueba.

65. a) ¿Cómo se nota el cambio en las corrientes inducidas?
- b) ¿Cómo se nota el cambio en el flujo magnético inducido cuando se está utilizando la prueba de corrientes parásitas?
- c) ¿Qué frecuencia de la corriente alterna se usa en la prueba de corrientes parásitas?

RESPUESTA:

- a) El cambio en las corrientes parásitas inducidas se detecta mediante una bobina detectora que está conectada a un circuito eléctrico. Este circuito registra la discontinuidad en diversas variables eléctricas, dependiendo del diseño, pero éstas pueden ser tensión, corriente o impedancia. Éstas están relacionadas en magnitud con la discontinuidad a través o en relación con los bloques de referencia.
- b) La distribución del flujo magnético inducido está afectada también por las discontinuidades, y esto se revela por el cambio en la distribución del flujo magnético en la medida que está afectada por el defecto.
- c) La frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético depende de la profundidad de la penetración bajo la superficie de la parte que está siendo probada. Las frecuencias varían desde 500 a 20.000 Hz (ciclos por segundo). Las altas frecuencias se utilizan para tubos de pequeño espesor de pared y de gran diámetro y no magnéticos.

66. ¿Cómo definiría una prueba de fuga aplicada a la comprobación de soldaduras en un recipiente a presión?

RESPUESTA: Las pruebas de fugas de las soldaduras de los recipientes a presión se usan para determinar discontinuidades que se extiendan a lo largo de una soldadura y que producen una pérdida bien sea líquida o gaseosa. Los tests usados en la prueba de pérdida pueden variar desde la prueba hidrostática utilizando agua hasta sofisticados medios usando ojos y equipo electrónico para la detección del gas fugado a través de una discontinuidad.

67. a) ¿Quién es responsable de realizar un procedimiento de examen no destructivo?
 b) ¿Qué incluirá?
 c) ¿Cómo se prueba el procedimiento?
 d) ¿Para quién estará disponible el procedimiento?

RESPUESTA:

- a) El fabricante o el que realiza el ensamblaje según la Sección V del código ASME; para inspección en servicio nuclear, el propietario de la central nuclear es responsable de la cualificación del personal de ensayo no destructivo.
- b) Para trabajos nucleares, todos los exámenes no destructivos serán llevados a cabo según un procedimiento escrito, que indicará claramente el método y técnica a utilizar para inspeccionar adecuadamente el recipiente o vasija sometido a prueba. La excepción a esta regla en calderas de potencia se detalla en el artículo 3 de la Sección V para exámenes radiográficos en la que no se requiere cualificación de procedimiento en tanto en cuanto se cumplan los requisitos de densidad e imagen del penetrómetro. Como ejemplo de buenos procedimientos de examen radiográficos para vasijas nucleares, debe detallarse lo siguiente: 1) material a radiografiar; 2) rango de espesor a radiografiar; 3) tipo de radiación, fuente, tensión eléctrica y fabricante del equipo fuente de radiación; 4) calidad de película o tipo a utilizar; 5) tipo y espesor de pantallas intensificadoras y filtros a utilizar; y 6) mínima distancia entre película y fuente de radiación.
- c) El procedimiento debe ser tal para probar el método a utilizar que muestre los defectos no permitidos por el Código. En todos los casos el procedimiento debe demostrar esta capacidad para satisfacción del inspector autorizado. Ésta es una buena regla a seguir en trabajos de inspección.
- d) El personal de exámenes no destructivos del fabricante y el inspector autorizado.