

Capítulo 14

PROBLEMAS DE SERVICIO, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

Los problemas de servicio surgen y se desarrollan en el tiempo como aparición de depósitos de impurezas que poco a poco se acumulan sobre las superficies de transferencia térmica, disminución del metal comido por la corrosión, reducción del espesor de los tubos por la erosión, los aumentos y bajadas térmicas (cíclicas) producen la aparición de grietas, las conexiones de los controles se llegan a taponar, las tensiones debidas a la presión y variación térmica afectan a la capacidad del metal para resistir los esfuerzos, y así toda una serie de problemas operativos similares tienen lugar debido al desgaste y corrosión de los equipos. Hay muchos problemas operativos que afectan a la producción y rendimiento. Las calderas modernas pueden tener controles operativos múltiples como se ve en la Figura 14.1 de la página siguiente. Muy a menudo estos controles y la instrumentación asociada necesitan ajustes para mantener sus exigencias formales de trabajo. Es aquí donde la experiencia y conocimientos del operador pueden ser muy importantes para efectuar los ajustes adecuados sin afectar a otras funciones de control que también pueden necesitar ajustes. Por ejemplo, un dispositivo de seguridad de bajo nivel puede operar para cortar un quemador. El operador comprueba su nivel de vidrio y ve que el nivel de agua está en su zona media adecuada en el vidrio. Asume o supone pues que el corte de quemado por bajo nivel está defectuoso y bloquea el dispositivo en su posición de cortado para mantener la caldera en operación. Lo desconocido para él es que las válvulas de nivel de la caldera fueron cerradas durante un cambio del nivel de vidrio y nunca volvieron a abrirse por el personal de mantenimiento. Así que el nivel de agua en el nivel de vidrio no es una indicación real del nivel de agua. El operario se da cuenta de ello solamente después de que la carcasa del ventilador de tiro inducido de la caldera se vuelve de color rojo cereza a medida que los tubos se funden lentamente en la caldera.

El *daño por sobrecalentamiento* debido al bajo nivel es la causa más importante y frecuente de parada de caldera en las calderas de baja y media presión. Las calderas de centrales tienen las roturas de tubos como la principal causa de parada.

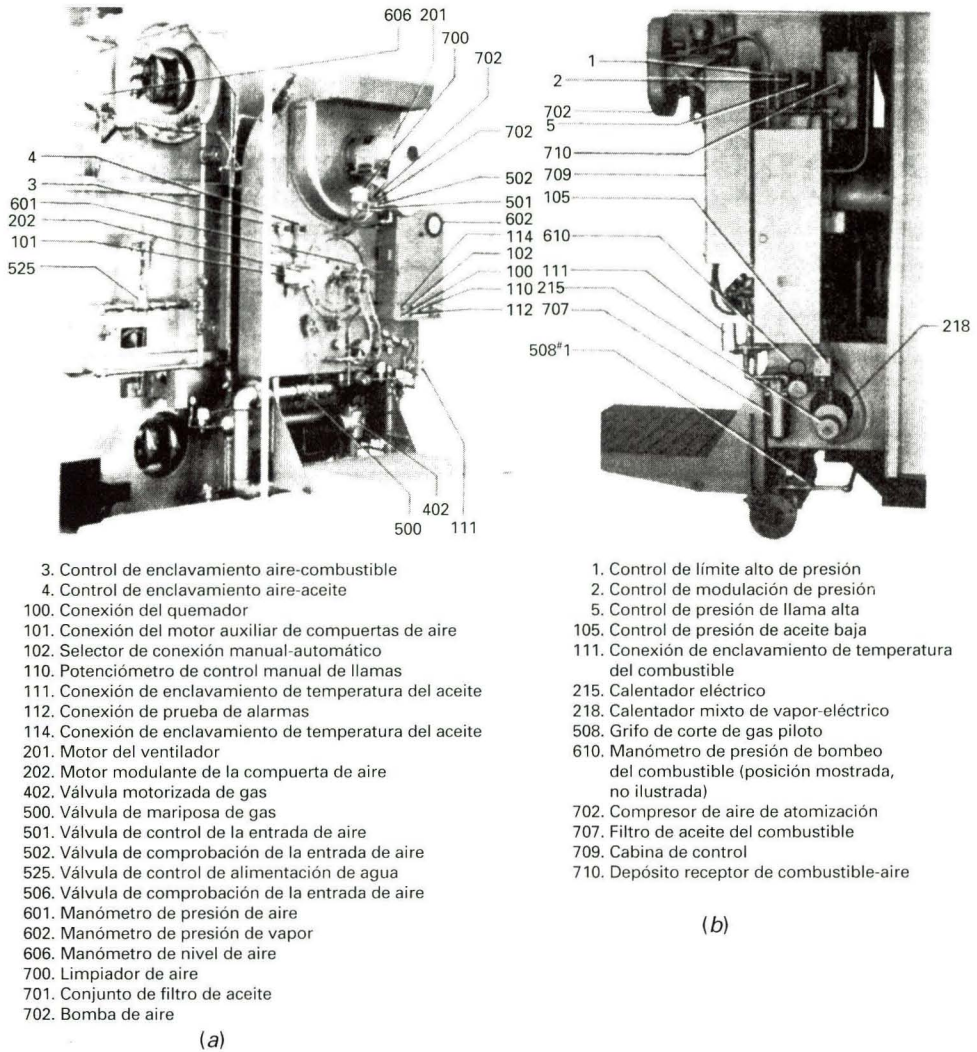


Figura 14.1. Una caldera industrial de tubos de agua tiene muchos controles, manómetros y válvulas que pueden reclamar la atención del operador. (a) Frente o fachada de quemador de cladera de tubos de agua. (b) Frente de cabina de control. (Cortesía de Cleaver Brooks Co.)

EFEECTO DEL BAJO NIVEL DE AGUA

El bajo nivel de agua en una caldera puede conducir a cualquier situación desde una fuga a una explosión, dependiendo en gran manera del tipo de caldera, la tasa de combustión y de lo bajo que haya llegado el nivel de agua. Si la caldera es de un tipo con bóveda sobre el hogar o cámara de combustión, como el de una locomotora u

caldera escocesa marina, una ruptura de la bóveda es casi inevitable si el agua descendiendo por debajo del nivel de la bóveda cuyo metal al descubierto pronto alcanza una temperatura tal (rojo oscuro) que la tensión resistente cae hasta un valor peligrosamente bajo. La rotura de la chapa de la bóveda es a menudo muy violenta y así han tenido lugar serias explosiones.

En las calderas de tubos de humos, el primer resultado de la caída del nivel de agua por debajo del nivel de seguridad cuando hay una tasa de combustión elevada, puede ser la fuga en el final trasero de caldera y las filas superiores de tubos. A medida que el nivel de agua baja y los tubos se exponen a los gases a temperatura elevada, la expansión o dilatación de los tubos es tan grande que se rompen por su unión a las placas. La fuga puede aparecer por las zonas finales de cada fila de tubos a medida que el nivel de agua descende más, hasta que la distorsión y rotura de las placas finales y cabezales, con fuga en sus asientos, se produce. Una explosión debida a nivel bajo de agua no es corriente en este tipo de caldera porque los muchos puntos de fuga pueden dar la alarma. Sin embargo, los tubos sí que pueden romperse.

Los efectos del nivel bajo de agua en los tubos de agua son similares a los de los tubos de humos. Los tubos se dilatan a medida que el nivel de agua baja y abandona estos tubos, y se suelen romper por los asientos o puntos de unión, produciendo fugas. Un nivel de agua excesivamente bajo puede dar lugar a la rotura o fundido de los tubos. La Figura 14.2 muestra cómo quedan los tubos después de un recalentamiento severo en seco. La caldera estaba equipada con dos seguridades de corte por nivel bajo, un regulador de agua de alimentación y una alarma por bajo nivel de

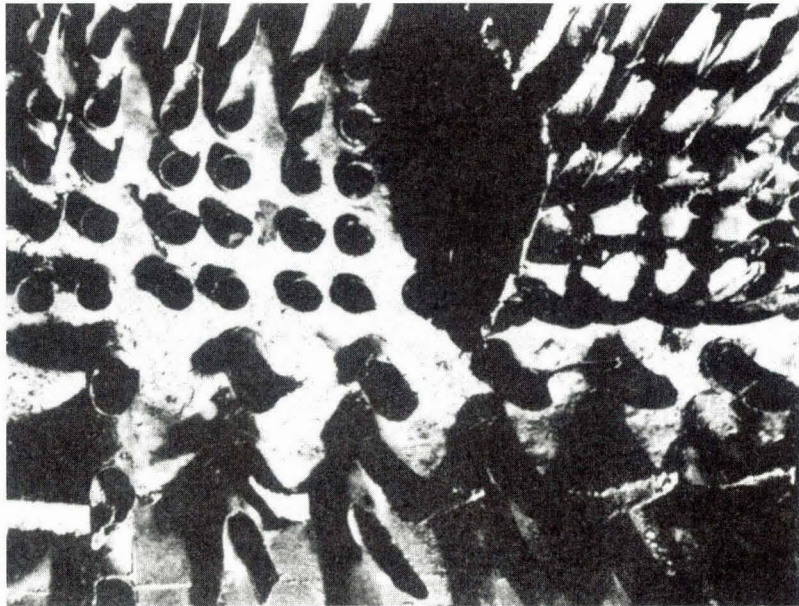


Figura 14.2. Tubos fundidos debido al bajo nivel de agua en una caldera de tubos de agua equipada con dos controles, uno de bajo nivel y otro de alarma por bajo nivel. (Cortesía de Factory Mutual Engineering.)

agua. Cuando estos dispositivos fueron comprobados periódicamente, no se hizo correctamente. La Figura 14.3 muestra un control de corte de combustible por bajo nivel de agua lleno de depósitos de lodos a causa de un fallo en la purga periódica o expulsión del lodo fuera de la cámara. Una gestión insistente de las pruebas de estos dispositivos vitales de seguridad evitaría la mayoría de los fallos por bajo nivel de agua.

Las mejoras en la operación y cuidado de una caldera minimizan la posibilidad de desarrollar las condiciones de bajo nivel, lo cual depende del chequeo frecuente y de pruebas de alimentación de agua, retorno del condensado, bombas y componentes similares del bucle o circuito de agua del sistema de calderas que se supone ha de mantener el circuito con agua. Los reguladores y alarmas asociados con los dispositivos de corte por bajo nivel son normalmente la última defensa contra el nivel bajo de agua, a no ser que un operador tome acciones correctoras. El mejor modo de probar el corte por nivel bajo de agua es duplicando la condición real de nivel bajo. Hay que drenar suavemente la caldera a través de la línea de purga mientras está bajo presión. Si una caldera de calefacción no tiene un drenaje adecuado para hacerlo, asegúrese de corregir esta condición. Muchos operadores drenan solamente la cámara del flotador de corte para esta prueba. Pero el drenaje de la cámara del flotador es sólo para purgar el sedimento de la cámara del flotador. Normalmente éste bajará cuando el drenaje se abra a causa del repentino chorro de agua que sale de la toma del flotador.

Las pruebas a menudo muestran que el drenaje de la cámara del flotador indicará que el corte por nivel bajo funciona correctamente, pero cuando se hace una prueba adecuada drenando la caldera, el corte falla en su funcionamiento. La prueba diaria del corte por bajo nivel de agua drenando la cámara del flotador es una práctica

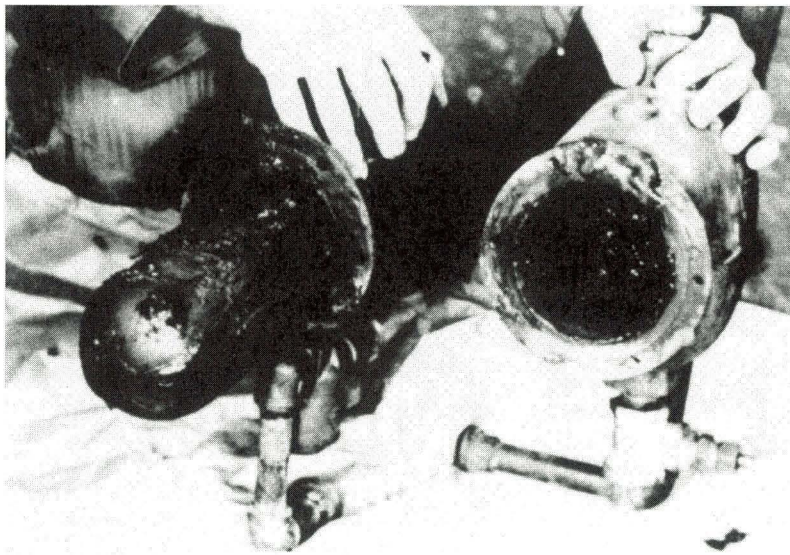


Figura 14.3. El corte de combustible por bajo nivel de agua está cegado con lodos debido a la falta de comprobación de su estado. (*Cortesía de Factory Mutual Engineering.*)

aconsejable. Pero al comienzo de cada estación hay que duplicar la prueba real de la condición de bajo nivel.

Para probar si una caldera tiene el nivel de vidrio interior obstruido, incluso aunque señale un nivel medio lleno de agua, hay que abrir los grifos de prueba de las columnas de agua. Si todos muestran vapor significa que la conexión inferior está obstruida, permitiendo al vapor de la conexión de superior condensar en el nivel de vidrio. La caldera debería cortarse inmediatamente e inspeccionarse para ver los posibles daños por calentamiento por falta de agua. Naturalmente, la conexión de la columna de agua con el nivel de vidrio debería limpiarse de toda obstrucción antes de volver a poner la caldera en servicio.

Si es necesaria una presión de alimentación de agua anormalmente elevada para mantener el agua en la caldera, hay que comprobar las válvulas y las líneas de alimentación de agua para asegurarse de que no esté rota una válvula, fuera de su asiento o que no haya alguna obstrucción en la misma línea de alimentación. De algunos métodos de tratamiento del agua de alimentación se ha sabido que depositan materias químicas en el interior de la línea de alimentación, haciendo imposible mantener el agua en la caldera. También compruebe si hay fugas debidas a tuberías rotas o corroídas en la línea de alimentación de agua (o en línea de condensado en las calderas de calefacción) especialmente si hay tuberías enterradas en el sistema.

Si el agua no es visible en el nivel de vidrio, a causa de un fallo del suministro de agua de alimentación, hay que hacer inmediatamente lo siguiente:

1. Cortar el combustible a quemadores y ponerlos en posición de seguridad.
2. Comprobar el nivel de agua, probando los grifos de prueba y el drenaje de la columna de agua. Si el nivel de agua bajo definido se indica por debajo del nivel de vidrio (visible), cerrar la válvula principal de vapor y la válvula de agua de alimentación.
3. Si la caldera está equipada con él, abrir el drenaje del sobrecalentador.
4. Continuar operando los ventiladores de tiro forzado y de tiro inducido hasta que la caldera se enfríe gradualmente.
5. Dejar que la presión se reduzca gradualmente y cuando la zona del hogar esté suficientemente fría, comprobar si los tubos pierden agua y otros signos de daños por sobrecalentamiento. En calderas piro-tubulares, observar si la chapa de los tubos presenta grietas o abolladuras y roturas de tirantes, virotillos y arriostamientos en las zonas de agua. Con las calderas escocesas marinas, observar si se han agrietado o roto las soldaduras del hogar por las chapas planas (placas). En las calderas de fundición, mirar si hay secciones agrietadas o roturas. En las calderas de cuerpo de acero, comprobar las juntas soldadas o remachadas de unión solapadas longitudinal o circunferencialmente.
6. Si no hay signos evidentes de fugas o pérdidas, hacer una prueba hidrostática a la caldera de 1,5 veces la presión de trabajo admisible. Después volver a comprobar si hay fugas en todas las zonas críticas de la caldera. Si se observan fugas durante la comprobación inicial o durante la prueba hidrostática, comunicarlo al inspector de calderas autorizado (o a una ENICRE*, en España) para que pueda inspeccionar de nuevo la caldera y avisar de las reparaciones procedentes.

* *N. del T.*: Entidad Colaboradora de los Servicios Oficiales del Estado o de las Autonomías.

FALLOS DE TUBOS EN PLANTAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Los diez mecanismos principales de fallo de los tubos en plantas de generación son grietas por altas temperaturas, erosión por cenizas volantes, sobrecalentamiento a corto plazo debido a fallos de circulación de agua, erosión en los sopladores de cenizas, defectos de soldadura, corrosión en el lado interior del hogar (lado de llama), corrosión por fatiga, rotura por escorias, fatiga térmica y fatiga vibratoria. Las roturas de tubos de calderas son la mayor fuente de pérdida de disponibilidad de calderas de combustibles fósiles según un estudio reciente del North American Electric Reliability Council. Las unidades o calderas de carbón de 200 MW o mayores han experimentado una media de 3,3 por 100 de pérdidas de disponibilidad por rotura de tubos.

Por medio de un seguimiento cercano del deterioro por NDT y un buen registro de tendencias, las roturas de tubos pueden reducirse analizando las causas y después llevando a cabo acciones correctivas antes de que pueda esperarse el fallo. Esto implica un esfuerzo de asesoramiento cooperativo, mantenimiento y actividad inspectora.

Las *calderas de parrilla* necesitan una atención especial para evitar daños por bajo nivel de agua durante un fallo de energía eléctrica. Una bomba de alimentación de caldera accionada por vapor, o bomba similar de repuesto, es necesaria en el caso de que una bomba de alimentación de caldera no pueda funcionar por corte de corriente. El efecto de la falta de energía eléctrica o provisión del combustible en su combustión debe ser tenido en consideración, ya que muchos sistemas de lanzamiento del combustible a los sistemas de parrilla están accionados por motor eléctrico. Un motor de gas de emergencia debe incorporarse al sistema de caldera de parrilla. El efecto de un fallo de energía eléctrica se extiende al funcionamiento de los controles operados eléctricamente. Una parrilla que está quemando carbón puede causar daños por sobrecalentamiento de los tubos si no se alimenta de agua a la caldera.

Es también esencial asegurarse de que todos los dispositivos de alimentación de combustible en calderas, incluso de calores perdidos (recuperación de gases), detienen o cortan realmente el flujo de alimentación térmica en la caldera durante cualquier situación de emergencia en el funcionamiento, como el caso de bajo nivel de agua. Un dispositivo o control remoto de desconexión del sistema alimentador es una buena inversión de seguridad. Por ejemplo, asegurándose de que todo el licor negro de una caldera de recuperación corta el caudal a los quemadores en el caso de rotura de un tubo.

Una *circulación pobre* debida al diseño es difícil de detectar y, muy a menudo, las roturas de tubo debidas a ello se atribuyen a problemas químicos del agua. Si la química del agua no está controlada adecuadamente, una acumulación de depósitos puede producir sobrecalentamiento y daño del tubo en la zona afectada. Sin embargo, las velocidades de la mayor masa de caudal de agua en los tubos que no están en la zona de fuego también pueden causar sobrecalentamiento del tubo por la masa térmica de gases fluyentes. Estas velocidades bajas del agua pueden también producir una capa o película por la ebullición y depositarse en forma de costra que actúa como aislante y puede producir temperaturas del metal por encima de las admisibles. Como consecuencia puede tener lugar un sobrecalentamiento local de los tubos. Si no se resuelve el problema de circulación, pueden producirse roturas repetidas en los tubos. La corrección de una circulación pobre normalmente requiere que el fabricante de la caldera revise el diseño. Esto normalmente exige un ajuste de la presión de bombeo a los tubos para asegurar una circulación adecuada.

CORROSIÓN

El daño producido por la corrosión puede ser un proceso de deterioro lento y normalmente es controlable mediante el tratamiento del agua y las inspecciones internas. La corrosión más frecuente encontrada es aquella debida a: (1) oxígeno disuelto; (2) ataque cáustico, que normalmente produce vaciado del metal; y, en algunas calderas con programas de tratamiento, (3) corrosión por quelatos, que también destruyen la capa fina de óxido de hierro magnético que protege las superficies metálicas contra la corrosión. La corrosión se clasifica en: *general*, *localizada*, como el «picado», corrosión en *grietas*, que tiene lugar cuando un líquido corrosivo se asienta en una grieta, y corrosión *galvánica*. En la corrosión galvánica, cuando dos metales no similares se exponen y entran uno en contacto con el otro si hay una corriente eléctrica o una tensión eléctrica entre ellos. El metal menos resistente, llamado anódico, pierde metal, mientras el más resistente, denominado catódico, tiene porciones de las partículas del metal menos resistente depositadas en el punto de unión.

Otra forma de corrosión es la denominada *lixiviación*, o desaleación y en algunos casos descincificación, como en el bronce. La fundición gris puede destruirse; la ferrita se convierte en óxido de hierro en presencia de agua ligeramente ácida. La *corrosión por desgaste* ocurre cuando dos metales rozan el uno contra el otro y esto destruye la capa protectora, exponiendo su superficie a nueva oxidación.

Corrosión interna. La corrosión interna es un deterioro electroquímico de las superficies de caldera, normalmente a o por debajo de la línea de agua. Véase la Figura 14.4 de la página siguiente. El pH del agua es una medida de su acidez o alcalinidad y normalmente tiene relación directa sobre las propiedades corrosivas. Toda masa de agua contiene alcalinidad (ión oxhidrilo, OH) e iones hidrógeno (H). El producto de estas concentraciones es siempre aproximadamente 10^{-14} . El pH del agua es el antilogaritmo de la concentración del ion H.

Si el agua es neutra, la concentración del ion OH es 10^{-7} ; por tanto, el ion H debe también ser 10^{-7} . Así pues, el pH es 7. Las aguas con una concentración iónica de H mayor que 10^{-7} son ácidas. De aquí que un pH por debajo que 7 indique acidez, y mayor que siete designe una condición alcalina.

Los efectos dañinos de la corrosión dependen de su tasa de penetración. La corrosión que afecta a grandes zonas de la chapa de calderas no penetra tan rápidamente como la corrosión localizada en zonas pequeñas. Estas últimas condiciones son difíciles de detectar y pueden aumentar sin notarse hasta extensiones peligrosas.

La corrosión localizada puede ser en forma de picado, muescado o ranurado (véase la Figura 14.5 de la página 585). El picado está causado por roturas repetidas en forma de puntos de la capa de óxido protector. Está afectado por el tipo de superficie, especialmente si se presentan incrustaciones por defectos de laminado u otras irregularidades superficiales semejantes. Las picaduras pueden ser tan pequeñas como la punta de un alfiler o tan grandes como una moneda.

Efectos de la corrosión. La resistencia de una virola o calderín se reduce a medida que prospera la corrosión o el picado aumenta. La presión admisible muy a menudo debe reducirse por el efecto debilitador de una chapa que se va corroyendo.

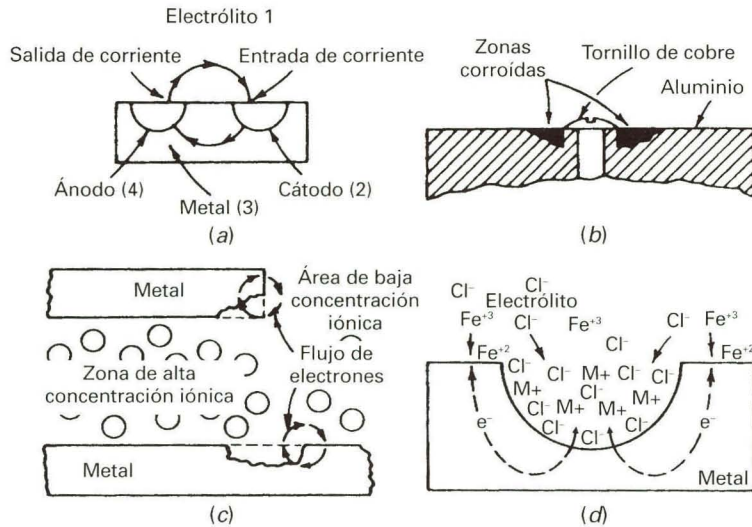


Figura 14.4. Tipos de ataques corrosivos. (a) La teoría de reacción electroquímica favorece el flujo de corriente iónica en la corrosión electrolítica. (b) La corrosión galvánica ataca al menos noble de los dos metales en contacto. (c) La corrosión de grieta ocurre en una falla o falta estructural localizada. (d) El picado químico está causado por la elevada concentración de cloruro o de oxígeno.

Ejemplo. Una caldera pirotubular de 60" (9,524 mm) de diámetro interior, con una eficiencia o rendimiento longitudinal del 100 por 100, tuvo un espesor original de 0,5" (12,7 mm). Durante una inspección, se puso en evidencia el picado y las pruebas de espesor indicaron una pérdida media de 3/16" (4,76 mm) de espesor de chapa. La caldera se diseñó inicialmente para 250 psi (17,5 kg/cm²) con un factor de seguridad (FS) de 4, y la válvula de seguridad está ajustada para esta presión. El material de la virola tiene una resistencia de 70.000 lb/in² (4.900 kg/cm²). ¿Debe reducirse la presión por causa del menor espesor?

Utilice la ecuación de la virola ilustrada en el Capítulo 9.

$$P = \frac{SEt(t - C)}{R + (1 - y)(t - c)}$$

donde: $S = 70.000/4 = 17.500 \text{ lb/in}^2 = \text{tensión admisible}$

$$E = 1,0$$

$$C = 0$$

$$R = \text{diámetro}/2 = 30''$$

$$Y = 0,4$$

$$t = 0,5 - 0,1875 = 0,3125''$$

Sustituyendo:

$$P = \frac{17.500(1)(0,3125)}{30 + 0,60(0,1875)} = 181,2 \text{ psi (12,68 kg/cm}^2\text{)}$$

La presión debe reducirse y se necesitan nuevas válvulas de seguridad.

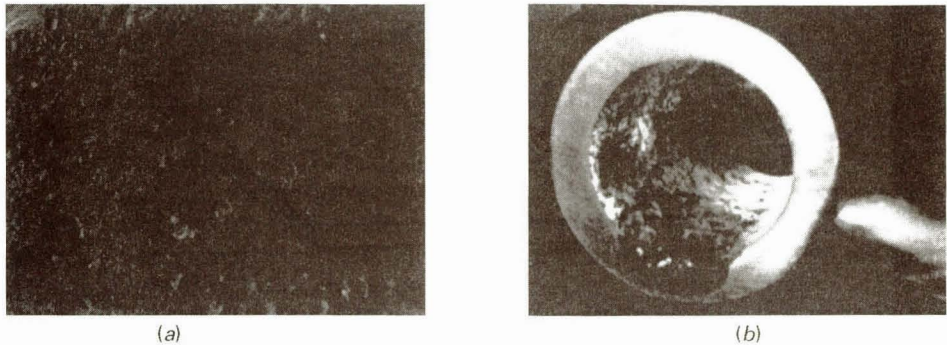


Figura 14.5. Dos tipos de ataques corrosivos en tubos. (a) Tubo picado. (b) Tubo con ranurado cáustico.

Las *acanaladuras*, o ranurado, son una forma de deterioro de la chapa de caldera por medio de corrosión localizada y concentración de tensiones. Véase la Figura 14.6 de la página siguiente. Se encuentran normalmente en zonas adyacentes y paralelas a los solapes remachados o roblonados en las bridas de los fondos bombeados. La ranura es normalmente de una anchura de $1/8''$ a $1/2''$, y puede tener desde varias pulgadas a varios pies de longitud. Como la reducción de espesor tiene lugar en una zona que está sometida a concentración de tensiones, el ranurado puede ser muy serio. Si esto ocurre en una gran extensión de las costuras de una virola o calderín no arriostrado de una caldera, no tiene ni admite reparación posible. La presión admisible debe reducirse considerablemente o la caldera debe retirarse permanentemente del servicio. En todos estos casos, deben seguirse los dictámenes de un inspector autorizado.

PROBLEMAS DE ROTURAS

El inicio y extensión de la rotura es una materia concerniente a toda inspección de los componentes de una planta o central térmica. El desarrollo de una rotura tiene tres componentes:

1. Un período de incubación, como puede ser el trabajo en frío, las tensiones cíclicas y los ataques químicos sobre la estructura de grano del material.
2. Propagación de la grieta desde un punto de inicio de separación metálica debida a los ítems mencionados antes.
3. Rotura hasta el tamaño crítico donde una pieza es demasiado débil para soportar la carga impuesta y el fallo final hasta su destrucción tiene lugar rápidamente.

La fatiga y la deformación lenta del material pueden iniciar grietas o roturas. La *fatiga* normalmente ocurre en un punto de concentración de tensiones como un ángulo de una pieza, o una superficie picada, y normalmente se origina en la superficie. La *deformación lenta* normalmente origina cavidades que se forman en las pro-

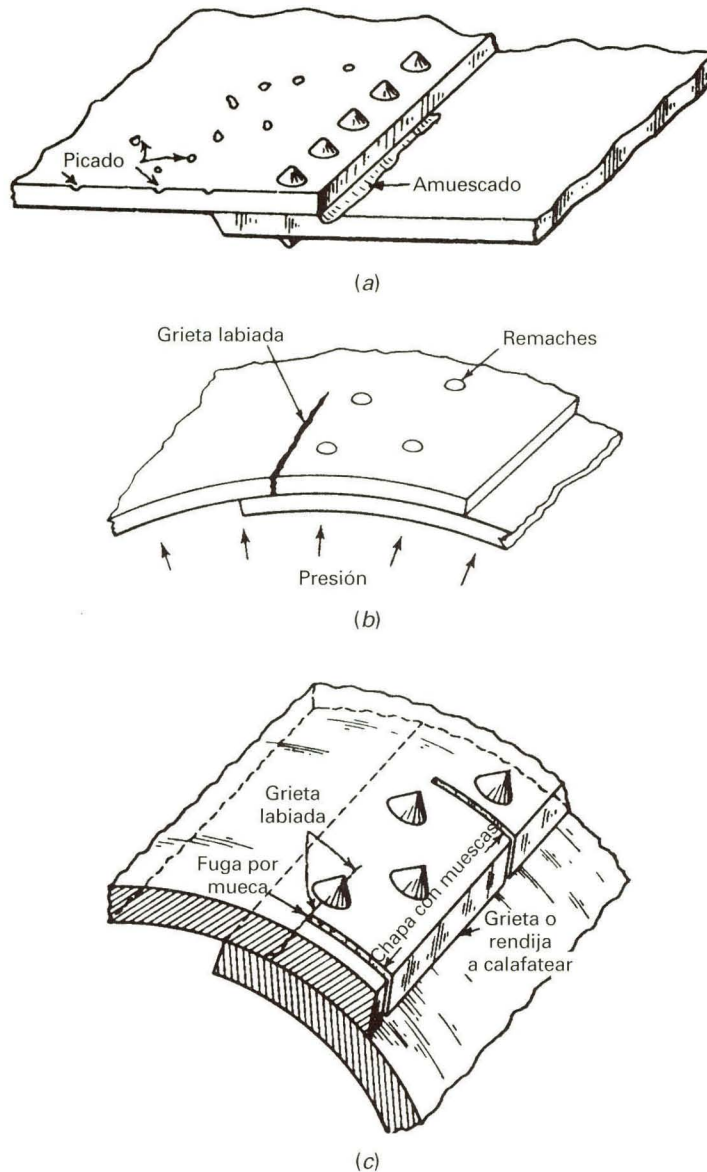


Figura 14.6. Problemas con las viejas calderas roblonadas. (a) Deterioro del metal por muescas. (b) Grieta labiada proveniente de una junta que no es circular, produciendo concentración de tensiones en labio. (c) Las muescas se utilizan para determinar si existió una grieta labiada continua.

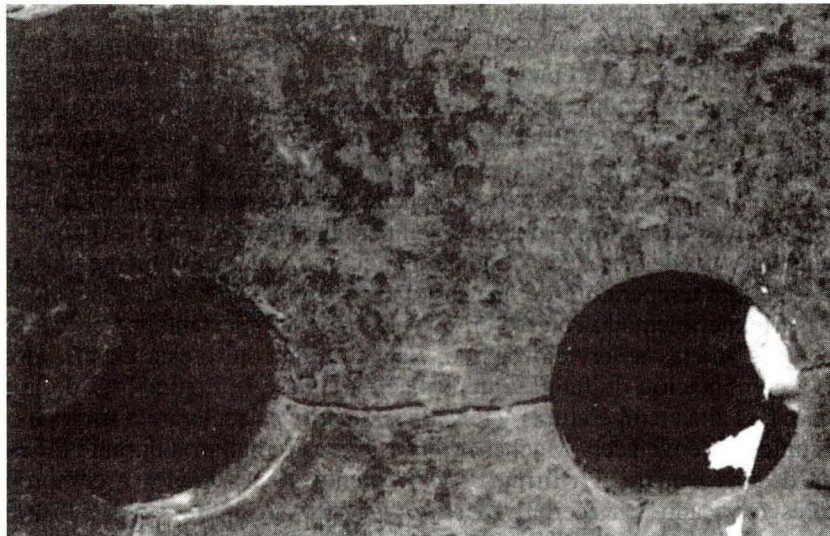
ximidades del grano, ya sea dentro del material o en la superficie, y a partir de ahí las cavidades se unen para dar lugar a una grieta o rotura. La deformación lenta es un fenómeno o daño a largo plazo, a medida que el material pierde su capacidad para alargarse con la carga.

La exposición de los metales a temperaturas que están ligeramente por encima de sus temperaturas de diseño puede causar una reducción dramática de su vida de deformación lenta. Un incremento de 50 °F (10 °C) (aproximadamente un 5 por 100) puede reducir la vida esperada de deformación de 40 años a entre 4 y 8 años. Además, trabajando sólo de 10 a 20 °F (6,6 a 12 °C) por encima de la temperatura de diseño durante largos períodos de tiempo puede producirse una reducción de vida de 10 a 20 años. Esta consideración es especialmente importante en los conjuntos de tubos y colectores de caldera, donde la temperatura del metal puede variar a través de la caldera y puede ser excesivamente alta en una zona, y también en las tuberías de vapor de alta temperatura de una instalación.

Se han experimentado roturas en el colector o sobrecalentador en calderas de instalaciones sujetas a servicio cíclico. Este tipo de rotura está clasificado como debido a combinación de fatiga y deformación. Véase la Figura 14.7 de la página siguiente. Las altas temperaturas y tensiones repetitivas aceleran la rotura a medida que las unidades envejecen. Muchas de estas grietas se hallaron durante los estudios de vida de una caldera. La firma B & W alentó a sus clientes a comprobar los colectores fabricados en acero $1\frac{1}{4}\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}-\text{Si}$ (SA 213-T11 y SA 335-P11) que estuvieron trabajando a 975 °F (524 °C) y por encima y fueron fabricados entre 1951 y 1965. El código ASME se cambió en 1965, lo que redujo la tensión admisible para estos materiales en cuanto la mayoría de los datos de servicio estuvieron disponibles. La grieta entre agujeros de tubo a tubo del colector mostrado en la Figura 14.7 es una representación de las grietas por deformación y fatiga. A medida que el envejecimiento de las unidades generadoras de vapor a alta temperatura aumenta, se requiere inspección para las grietas, roturas de soldaduras o uniones roblonadas en calderines de sobrecalentadores. Los ingenieros expertos en calderas a partir de las tensiones de fabricación tienen varias medidas a largo plazo para determinar la vida restante de las unidades sujetas a mecanismos de fallo según el tiempo, tales como fatiga-deformación: medida de la hinchazón o de la deformación de los componentes sospechosos de la caldera y replicas de la superficie.

La *corrosión por fatiga* normalmente produce roturas intergranulares de los metales que sufren tensiones cíclicas en un ambiente corrosivo. La rotura por corrosión de tensiones ocurre cuando un metal está en contacto con un medio corrosivo mientras está sometido a fuertes tensiones. Requiere la presencia de un metal fuertemente tensionado y un medio corrosivo. Las tensiones normales son así aumentadas por encima de lo normal.

La *rotura cáustica* (fragilidad cáustica) es un tipo importante de fallo del metal de la caldera caracterizado por grietas o fallos continuos, la mayoría de ellos intergranulares. Parece que son necesarias las siguientes condiciones para que este tipo de rotura se produzca: (1) el metal debe estar sometido a tensiones; (2) la caldera debe contener hidróxido sódico cáustico; (3) al menos trazas de sílice deben estar presentes en el agua de caldera; y (4) deben presentarse algunos mecanismos, como ligeras fugas, para permitir al agua de caldera concentrarse sobre el metal con tensiones. La rotura cáustica fue un problema particular en las antiguas calderas de calderines remachados a causa de las tensiones y grietas en las zonas roblonadas y solapadas. Mientras este tipo de rotura ha llegado a ser menos frecuente desde la llegada de los calderines soldados, los finales de tubos laminados son aún zonas vulnerables al ataque. La posibilidad de rotura cáustica debería considerarse al establecer cualquier programa de inspección.



(a)



(b)

Figura 14.7. (a) Grietas en colector de sobrecalentador producidas por fatiga-deformación. (b) Grieta sobre soldadura longitudinal del sobrecalentador debida a deslizamiento cristalino. (Cortesía de Babcock & Wilcox Co.)

Una variación de sección brusca en una pieza de caldera sometida a tensiones provoca una concentración de tensiones que multiplica la tensión o esfuerzo normal en esa sección. Si la caldera está sometida a un trabajo cíclico, pueden aparecer

grietas de fatiga. Los ángulos afilados tienen que estar muy vigilados en una inspección para detectar posibles comienzos de roturas.

El *trabajo cíclico de las calderas* es muy evidente en estas unidades sujetas a servicio de puntas. Esto es algo que prevalece en los generadores de vapor por recuperación de calor que se utilizan en plantas de cogeneración de ciclo combinado; éstos son usados a menudo como unidades de punta, combinados con arranques rápidos de turbinas de gas. El servicio cíclico causa tensiones repetitivas sobre las juntas de tubos laminados o soldados a partir de las variaciones térmicas severas a medida que la unidad se pone en carga creciente y después baja de la carga punta en sus ciclos de trabajo. Eventualmente los componentes de caldera que pueden desarrollar roturas por fatiga térmica cíclica son los siguientes: colectores de entrada del economizador, juntas de tubos de los muros pantalla del hogar y soldaduras de los tubos al colector. La mayoría de las calderas viejas fueron diseñadas para servicio de carga de base. La operación cíclica produce dilataciones y contracciones entre colectores, tubos y otras partes bajo presión. El servicio cíclico produce así tensiones elevadas a medida que tienen lugar los calentamientos y enfriamientos, y eventualmente aparecen roturas y/o grietas debidas a la fatiga o a las tracciones y contracciones repetitivas. Los colectores de entrada al economizador son también piezas muy susceptibles a las roturas por ciclo térmico a medida que el agua fría entra a un colector caliente durante los ajustes de nivel de agua en el calderín.

Un procedimiento de operación común es no abrir los drenajes del sobrecalentador en los cortes o cierres de unidades de puntas, sino abrir los drenajes durante los arranques. Sin embargo, para evitar acumulaciones de condensado en el sobrecalentador durante los cortes o cierres cíclicos, los drenajes del sobrecalentador deberían abrirse para evitar un efecto de extinción o enfriamiento que pudiera producir tensiones térmicas elevadas, seguidas de contracciones.

Como es evidente, el *método de operación* es también una consideración importante cuando se realizan inspecciones para determinar los posibles problemas de calderas.

Las *grietas o roturas* en la unión solapada fueron algo habitual en las antiguas calderas remachadas o roblonadas. Probablemente la más peligrosa de todas las roturas por fatiga fue la rotura del solape que no se desarrollaba a la vista entre los orificios de los remaches de las uniones solapadas y con remaches longitudinales de las virolas de calderas o calderines. Este defecto fue inducido a causa del hecho de que un asiento de unión de caldera no está trazado sobre una verdadera circunferencia, sino que hay una concentración de tensiones por flexión en la línea de unión de las chapas curvadas (véase la Figura 14.6b). Muchas explosiones serias han resultado de tales grietas. Normalmente las fugas a través de las juntas eran un aviso de una grieta de junta. Si existía alguna fuga o sospecha de este defecto, se realizaban unas calas en la chapa (Fig. 14.6c). Si se determinaba alguna fuga a partir de las mismas, era la indicación clara de una grieta. A menudo era necesario eliminar varios remaches en las regiones sospechosas, de modo que pudiese examinarse el interior de los orificios de los remaches. No se permitían reparaciones en las grietas de solape. La caldera se condenaba inmediatamente.

El *daño inducido por hidrógeno* normalmente se produce en los siguientes componentes de caldera:

1. Roturas de los tubos del hogar que normalmente están localizados en las zonas de alta carga térmica del hogar. El daño por hidrógeno es reconocible en la superficie interior de los tubos expuestos a los gases a temperatura elevada del hogar. Normalmente ocurre debajo de los depósitos minerales relativamente densos, denominándose «corrosión por depósitos inferiores». También ocurre en zonas de turbulencias del fluido, como en las curvas de los tubos. El hidrógeno producido en la reacción corrosiva entre el fluido y el metal produce burbujas que se difunden en el metal, originando un decarbonamiento del metal del tubo y resultando microroturas que aparecen en el tubo metálico. Estas microroturas crecen hasta que una parte del tubo es soplada al exterior como muestra la Figura 14.8a.
2. La Figura 14.8b ilustra el papel del hidrógeno difusivo al producir una rotura retrasada en una soldadura. El hidrógeno disuelto penetrando en la soldadura puede ser el resultado del proceso de soldadura, de modo similar al efecto de la humedad cuando ésta se presenta. El uso de electrodos de soldar clasificados como de bajo contenido de hidrógeno es, hoy en día, un método aceptable para evitar la inyección de hidrógeno. Los electrodos deben también secarse antes de proceder a la operación de soldadura. Los recientes desarrollos incluye la fabricación de electrodos con revestimiento que evite

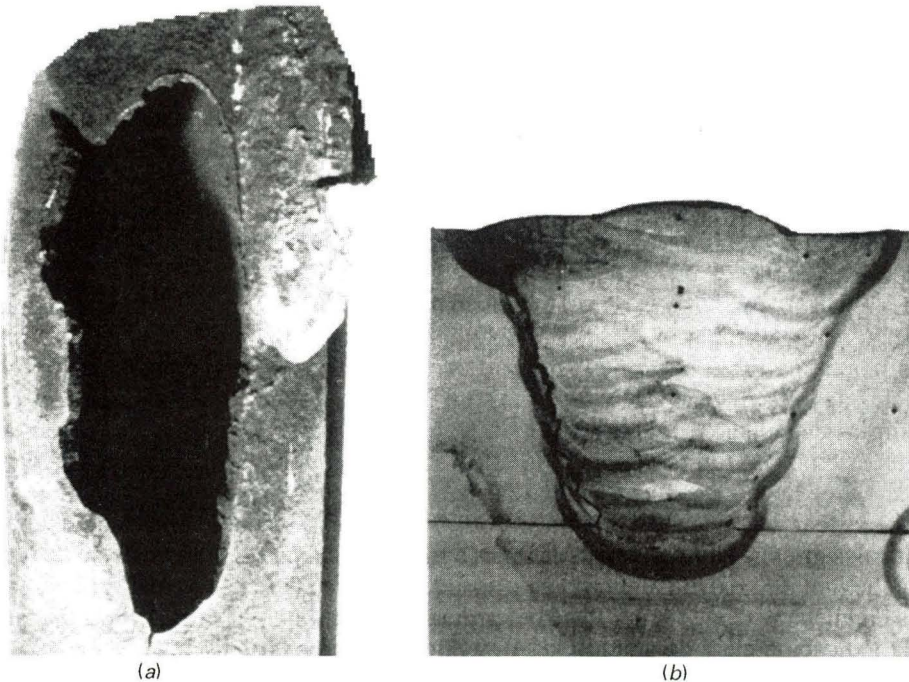


Figura 14.8. Roturas y grietas inducidas por hidrógeno: (a) Rotura de tubo de hogar debido a intrusión de hidrógeno. (Cortesía de Babcock & Wilcox Co.); (b) Zona de rotura térmica afectada y debida a una intrusión de hidrógeno. (Cortesía de Welding Journal of AWS.)

la humedad. Sin embargo, los soldadores suelen abrir un contenedor sellado de electrodos muy secos y utilizarlos uno por uno. Esta apertura y extracción expone los electrodos del container a la humedad de la atmósfera lo que puede impulsar al hidrógeno a difundirse en las soldaduras y producir roturas inducidas por el hidrógeno. Los electrodos deberían calentarse en el lugar de trabajo para evitar la contaminación por humedad.

Roturas de soldaduras. La moderna construcción de calderas y recipientes a presión ha sido posible con los avances en el conocimiento de la soldadura. Sin embargo, hay que tener en cuenta muchas variables para obtener una buena junta o unión soldada con garantía. Es necesario considerar los siguientes factores variables: soldadura del metal de base; forma de la unión; proceso de soldadura a seguir; procedimiento a seguir para la ejecución de la soldadura; tamaño y tipo de electrodo; corriente (o temperatura de la soldadura) a aplicar; precalentamiento y poscalentamiento a utilizar; NDT a aplicar para la comprobación de juntas; y utilización de procedimientos y soldadores cualificados. Las consideraciones de aceptación final pueden también implicar una prueba hidrostática.

Los defectos en las técnicas o procedimientos de soldadura pueden producir roturas en las mismas (Fig. 14.9). Las pequeñas grietas pueden ponerse de manifiesto normalmente y, así, resoldarlas. Los métodos de NDT, como los tintes penetrantes se usan para determinar si el final de una grieta se ha detectado durante el proceso de revisión. Los tratamientos de precalentamiento y poscalentamiento pueden requerirse en la reparación de soldaduras siguiendo el código ASME, Sección IX. La reparación debe aprobarse normalmente y después ser testificada por un inspector autorizado (o entidades colaboradoras de la administración, ENICRE's en España).

Los defectos de soldadura considerados inaceptables son las grietas o roturas, zonas con fusión incompleta o falta de penetración de la soldadura y las incrustaciones de escorias de 1/4" (6,4 mm) con la máxima longitud de inclusión de escoria de 3/4" (19 mm) en chapas de espesor mayor de 2 1/4" (57 mm). La ASME edita cuadros

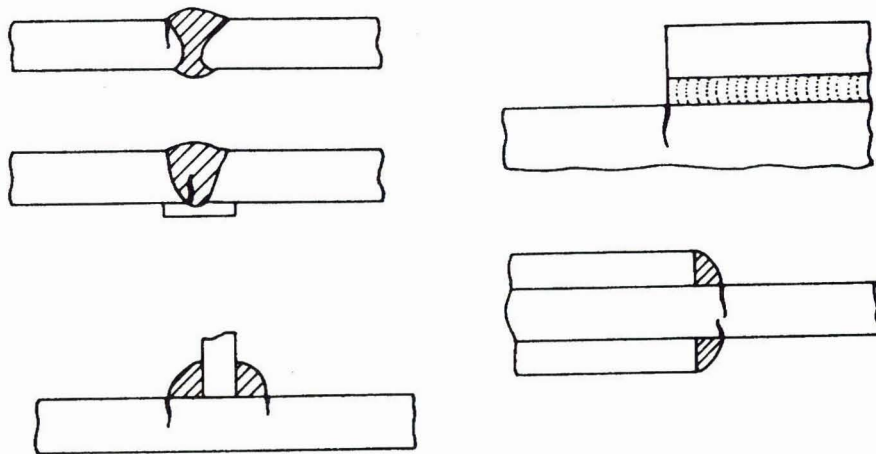


Figura 14.9. Zonas de uniones soldadas para la detección de grietas o roturas.

de porosidad que detallan el número y tamaño de una porosidad permitida en una longitud determinada por espesor de soldadura. Las soldaduras pueden fallar o romperse por aplicación de tensiones repetitivas, especialmente allí donde puede existir una discontinuidad. La Figura 14.9 ilustra las zonas típicas de soldaduras que deberían ser revisadas durante la inspección como posible inicio de rotura por fatiga. La zona afectada térmicamente ha sido tema de mucha investigación. Las roturas por fragilidad en la zona afectada por el calor pueden iniciarse debido a la presencia de hidrógeno, grietas por recalentamiento, grietas por fatiga o falta de fusión en la raíz de la soldadura o en la fusión de la pared lateral contigua. El tratamiento térmico después de la soldadura generalmente mejorará la tenacidad y resistencia de la mayoría de aceros al carbono y ayuda en la prevención de las roturas por fragilidad en la zona afectada térmicamente (HAZ) de la soldadura. Como dispositivo de control de calidad para asegurarse de la efectividad de una soldadura, las inspecciones con NDT de las soldaduras han sido beneficiosas para reparar los fallos por rotura de las soldaduras.

PROBLEMAS DEL LADO DE FUEGO

La *corrosión externa* o deterioro de las superficies de calderas en el lado de fuego puede ser un proceso continuado. Es una combinación química del metal, conocida como oxidación u orín. Normalmente, esta acción no debería progresar apreciablemente en la vida de una caldera. Sin embargo, la mayoría de las superficies de calderas están recubiertas de hollín o cenizas en el lado de fuego. El azufre contenido en el hollín se combina con la humedad para formar ácido sulfuroso que es altamente corrosivo. Por ello, una pequeña fuga puede provocar un serio defecto en unos pocos años; incluso aunque no haya humedad semejante, la caldera puede «sudar» cuando esté parada en tiempo húmedo y la humedad, en combinación con el hollín, puede originar problemas.

Las fugas continuas de cualquier origen no deben permitirse, sean ellas del goteo de agua de un tejado, de una empaquetadora, junta de válvula, de tubería o de otras fuentes. El goteo de agua en una caldera causará daños. Los sopladores de hollín con fugas son un origen frecuente de corrosión externa de los tubos de agua. Las válvulas del soplado de hollín deberían mantenerse estancas y la tubería drenada de condensado antes de soplar el hollín.

Las fugas por el cierre del agujero de hombre y de mano frecuentemente causan daños a la brida o chapa de las proximidades por corrosión exterior. La chapa seca de las calderas con agujeros de hombre o de mano interiores debería tener un orificio de drenaje de 3/4" en el fondo, de forma que cualquier fuga de un cierre de agujero de hombre, soplador de hollín o tubo que gotea a través del orificio provoque una indicación de fuga. De otro modo, el agua se recogerá en la parte inferior de la chapa seca y provocará serios daños.

La *erosión* está unida muy de cerca con los efectos de la corrosión exterior, pero es puramente una acción mecánica, un desgaste de las superficies exteriores por abrasión. Las entradas finales de grietas a los tubos en una caldera de tubos de humos pueden desgastarse y llegar a ser muy finas después de diez a veinte años a causa de la acción de las partículas de hollín al entrar en los tubos a elevada ve-

locidad. Este efecto puede deberse también al hecho de que la corrosión interna es más rápida en las zonas en las que la elevada temperatura produce una mayor tasa de evaporación.

No es infrecuente la erosión por unos sopladores de hollín incorrectamente ajustados. En unas pocas semanas de uso puede producirse un orificio a través de varios tubos por un chorro del soplado de hollín dirigido incorrectamente. La acción es parecida a la erosión de un chorro de arena. La erosión como resultado de un dardo de llama probablemente no tiene la oportunidad de llegar ser un problema serio, porque la localización del recalentamiento hace que esta condición sea evidente con rapidez.

Cuando se producen grandes cantidades de cenizas en las calderas de carbón, las escorias y los problemas de ensuciamiento pueden manifestarse en el hogar y en la zona de convección de la caldera, especialmente si los sopladores de hollín no son operados suficientemente como para eliminar las cenizas. El ensuciamiento y cegado de los pasos de convección puede provocar que las cenizas volantes se vuelvan pegajosas, acelerándose así la acumulación de las escorias. El metal que hay bajo las escorias puede ser atacado por la presencia de humedad, llevando a un deterioro en la zona de llama. Los sopladores de hollín y otros elementos auxiliares de caldera (Figs. 14.10a y 14.10b) requieren un mantenimiento preventivo para evitar problemas de caldera.

La *corrosión de la zona fría final* ocurre con frecuencia sobre los tubos del economizador o en alguna caldera con baja temperatura de escape y superficie de transferencia térmica que suda. El término *corrosión de punto de rocío* también se utiliza. Ocurre sobre todo en calderas que queman combustible sólido y combustibles petrolíferos líquidos con algo de azufre en el combustible y también compuestos de vanadio y sodio. A medida que los gases de escape se enfrían por debajo de 325 °F (163 °C), puede tener lugar la condensación del agua en los gases de escape. El ácido sulfuroso, formado por la condensación y combinación del azufre del combustible con la humedad, también se produce alrededor de los 280 °F (138 °C). De ese modo, el ácido y la humedad atacan toda la superficie de transferencia térmica en el fondo trasero de la caldera. Esto incluye también a las calderas de recuperación de gases utilizadas en las plantas de ciclo combinado de turbina de gas. La práctica

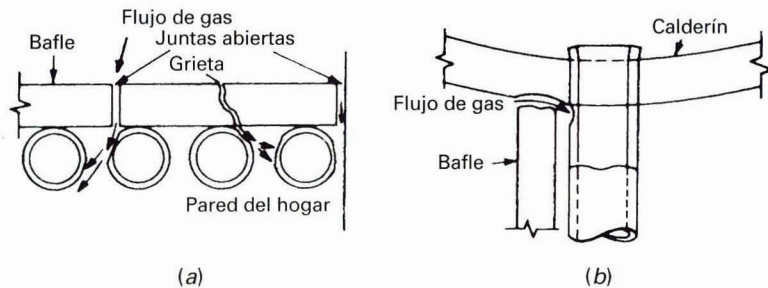


Figura 14.10. El cegado de los pasos de gases y los baffles defectuosos pueden producir roturas de tubos por erosión. (a) Tubo que está siendo erosionado por el flujo de gas lavador. (b) Calderín de caldera que está siendo erosionado por el flujo lavador del gas concentrado a través de un baffle defectuoso.

moderna es utilizar materiales más costosos pero resistentes a la corrosión, como por ejemplo en los economizadores, en el fondo o final frío de la caldera. La Figura 14.11a ilustra el daño producido en la entrada de un economizador de una caldera de recuperación de gases de escape por trabajar por debajo de la temperatura del punto de rocío.

Las centrales que *queman residuos urbanos* experimentan desgaste de los tubos debido a la elevada concentración de cloruros, metales alcalinos y metales pesados en el combustible que se quema. La Figura 14.11b muestra el efecto en una pared de tubos de agua que sufrió un daño provocado por corrosión. La mayoría de las plantas que queman desechos urbanos tiene que recurrir a la soldadura de materiales, como la aleación 625, para preservar del desgaste la superficie de los tubos. Esta aleación tiene un contenido elevado en níquel, que da mayor resistencia al ataque de los cloruros que el acero al carbono o los aceros inoxidable. Las instalaciones más modernas pueden utilizar también tubos de aleación 825 en el lado o cara exterior del tubo. Esta aleación contiene alrededor del 42 por 100 de níquel.

La *corrosión por cenizas volantes* se acelera por trabajar en la zona de temperaturas del punto de rocío y cuando la caldera está parada e inoperante. Esto ocurre en las calderas que queman combustibles fósiles. Las cenizas volantes pueden acumularse en el camino de los gases del calderín y esto actúa como una esponja que recoge humedad y ácido causando la corrosión de los tubos, especialmente durante los períodos de paro y corte de la caldera.

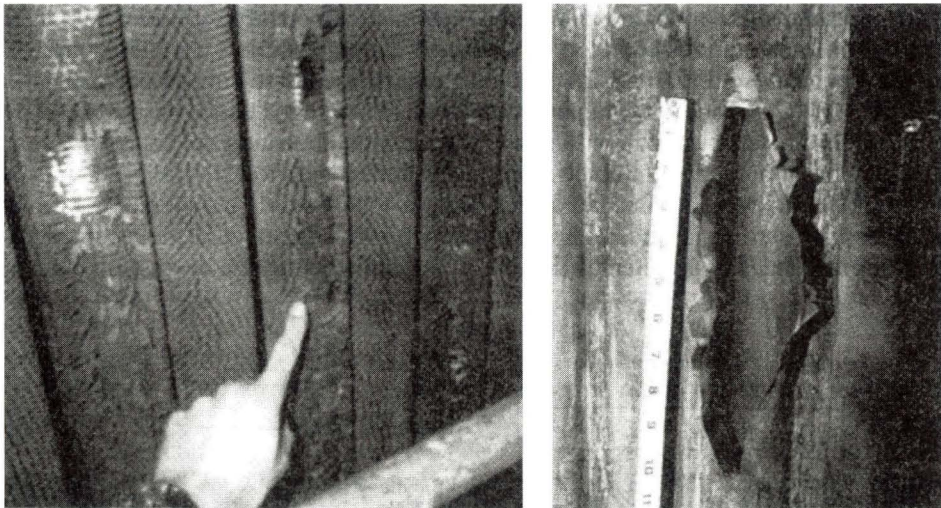


Figura 14.11. (a) Tubo de economizador de una caldera de recuperación de gases de escape atacado por corrosión debida a la temperatura del agua de alimentación que está unos pocos grados por debajo del punto de rocío de los gases de escape. (b) El rechazo derivado de la combustión de residuos en una caldera ha atacado los tubos de la misma pantalla por corrosión inducida por reacciones químicas del combustible residual. (Cortesía de *Power magazine*.)

Minimizando la erosión por cenizas volantes. Las roturas de tubos debidas a la erosión por cenizas volantes representan la segunda gran causa de pérdida de disponibilidad en las plantas de combustibles fósiles. Las variables más importantes que afectan a la erosión por cenizas volantes son las partículas, su velocidad, ángulo de incidencia y calidad del carbón y de las cenizas volantes. El efecto de la velocidad de impacto es particularmente importante a causa de la tasa de pérdida por erosión, que normalmente es proporcional a la velocidad elevada a una potencia de 2 a 4. Así, un ligero aumento de la velocidad de los gases tiene un efecto sustancial.

Las medidas para *remediarlo* más corrientemente utilizadas consisten en medidas de tipo sacrificio. La soldadura de refuerzos y la colocación arbitraria de escudos están muy extendidas, con sustitución de tubos como solución final. Estas medidas no eliminan las causas de roturas y, de este modo, el resultado es la repetición de los fallos, un mantenimiento caro y, finalmente, una disminución de disponibilidad.

Control de los caudales elevados de gases. Otro método para controlar la erosión por cenizas volantes es la instalación de pantallas y baffles en las zonas de alta velocidad de flujo de gases para controlar la velocidad de impacto de los gases de combustión sobre los tubos.

La técnica desarrollada para la colocación adecuada de las pantallas y baffles se conoce como *prueba de velocidad del aire frío*. Esto implica la utilización de medidas detalladas y locales del caudal de aire en la caldera durante las paradas con los ventiladores a su caudal nominal. Una vez determinadas las zonas de caudal elevado, se diseñan e instalan las pantallas y los baffles. Su efectividad se prueba mediante otra prueba de velocidad de aire frío y, después, la unidad se devuelve a los servicios para pruebas prácticas y reales de control de velocidad de partículas para minimizar la erosión o cenizas volantes. Este método de minimizar la erosión de las cenizas volantes por control de la velocidad de partículas se desarrolló en las plantas de combustibles fósiles de Canadá.

Erosión por partículas sólidas. Cuando la incrustación por óxidos exfolia (desgasta en láminas finas) el interior de la caldera, el sobrecalentador, los tubos del recalentador y también el vapor que va por las tuberías, estas partículas sólidas son arrastradas por el vapor a elevada velocidad hacia las turbinas de vapor, donde las partículas erosionan las toberas, válvulas de vapor, álabes y conductos cuando impactan como un chorro de arena sobre los componentes o piezas de la turbina.

Esta erosión o desgaste cambia eventualmente la forma de los álabes, toberas y asientos de válvulas, reduciendo la eficiencia del flujo del vapor a través de la turbina y causando también potencialmente un desgaste suficiente como para que las piezas puedan romperse dentro de la turbina, dando como resultado un daño severo en el interior de la máquina y originando reparaciones costosas. La exfoliación por óxido es normalmente el resultado de las variaciones de temperatura que impulsan a los tubos a dilatarse y contraerse, perdiendo así las incrustaciones.

La reducción de la erosión por partículas sólidas es posible mediante:

1. La evitación de las variaciones demasiado frecuentes de temperatura en una caldera (funcionamiento en carga base).

2. La limpieza química de tubos siempre que se noten incrustaciones u óxidos.
3. El recubrimiento de las superficies interiores de los tubos para evitar la formación de óxidos en desarrollo reciente.
4. El aumento y mejora del control del tratamiento de agua para evitar la oxidación del metal.
5. El uso de sistemas de *bypass* del condensador durante el arranque y parada de caldera, lo que rebaja o disminuye las oscilaciones de temperatura en sobrecalentadores y recalentadores, y, así, evita la formación de incrustaciones debido al desconchado por el rápido cambio de temperatura.
6. El recubrimiento de los caminos críticos del vapor en las piezas de turbina con pinturas o revestimientos como el carburo de cromo para resistir el impacto de la incrustación que viene de los tubos de caldera.

Impacto directo de la llama. El *impacto directo de la llama* es una fuente de daños a la caldera y a su refractario. Si la llama choca directamente sobre la chapa o virola de la caldera (Fig. 14.12a) se producirá una excesiva evaporación de la superficie del agua que está sobre ese punto de incidencia. Las temperaturas elevadas pueden provocar daños a través de la formación de incrustaciones locales y corrosión, que de otro modo no aparecen, o las temperaturas pueden ser suficientemente elevadas para producir serios daños por sobrecalentamiento de la chapa.

La incidencia directa de la llama sobre los tubos de las calderas de tubos de agua puede producir bolsas de vapor. De este modo, la evaporación y la circulación resultante hacia arriba en un tubo puede ser más rápida que la tasa de enfriamiento del agua que puede suministrarse desde la parte inferior de los tubos. Como resultado se producirán bolsas de vapor, un recalentamiento serio y una rotura de los tubos. Los tubos de agua son también susceptibles de sufrir las mismas consecuencias de la incidencia de la llama que aquellas que se citaron para los tubos de humos de las calderas pirotubulares.

Una reducción del espesor debida a la erosión por partículas de carbón ardiendo y por cenizas volantes dará como resultado una incidencia continua de la llama. El lamido de la llama sobre el refractario acorta su vida notablemente, debido a la erosión y al sobrecalentamiento.

Problemas de combustión. Los procesos y los problemas de la combustión son múltiples e implican la combustión de diversos combustibles en hogares apropiados, de forma que se mantengan unas relaciones aire/combustible adecuadas y una buena ignición con una llama estable.

A veces, los hogares de combustibles líquidos fluctúan por mantener una pulsación hasta el extremo de que toda la caldera puede vibrar. Este efecto normalmente puede detectarse y se debe una presión pulsatoria del combustible líquido, por ejemplo resultado de la bomba alternativa de combustible. El uso de una cámara que haga de colchón de aire normalmente resuelve este problema.

Los quemadores nunca deberían encenderse mediante el calor del refractario o por medio de la llama de otro quemador. Utilice la antorcha de encendido o llama piloto. Las explosiones en el hogar pueden resultar del desprecio de estas precauciones en el encendido.

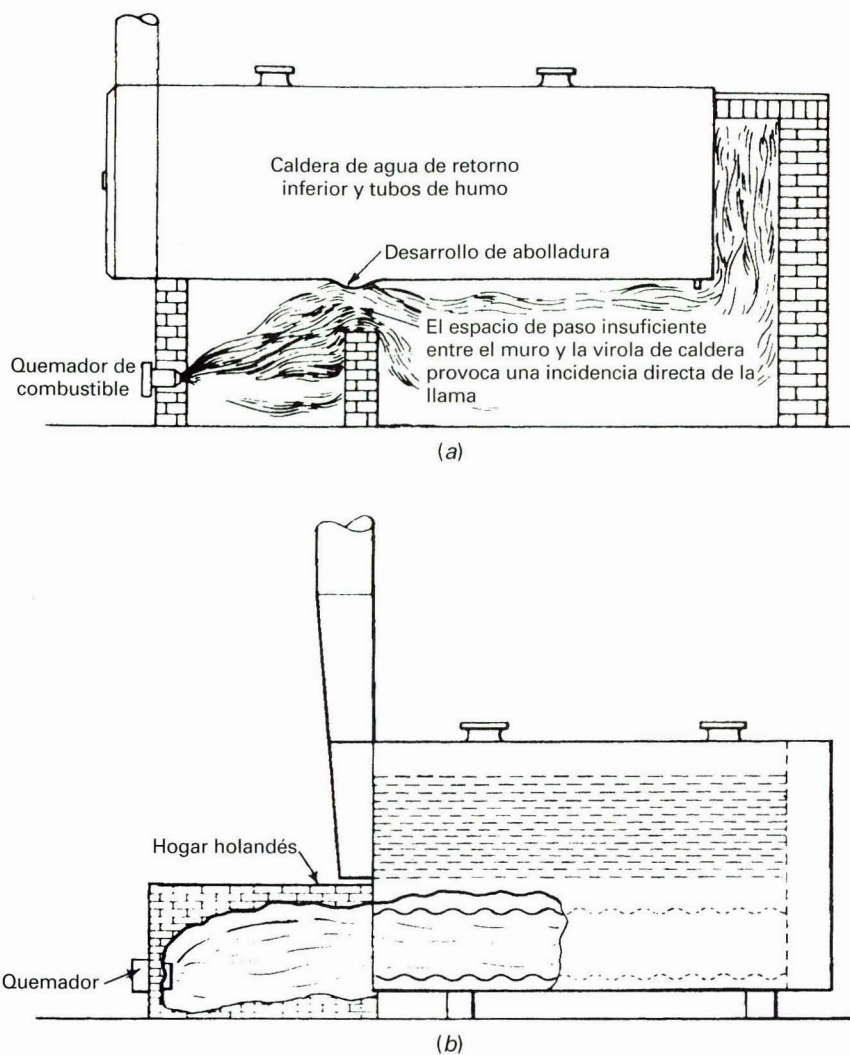


Figura 14.12. (a) La incidencia de la llama puede causar daños severos localizados por sobrecalentamiento. (b) El hogar holandés incrementa el tiempo de combustión.

La *estabilidad de la ignición* es importante para la combustión segura de los combustibles en suspensión. El carbón de bajo contenido en volátiles (gaseosos) es a veces inestable cuando se pulveriza y cuando se trabaja a cargas bajas. La inestabilidad del quemador de combustible líquido puede deberse normalmente al sistema de combustible líquido parcialmente obstruido o a una temperatura y viscosidad inadecuada del combustible.

Una de las causas más comunes de las explosiones del hogar es el fallo momentáneo de la ignición durante la marcha regular. Durante las pausas o paradas, el

combustible inquemado entra en el hogar y los gases altamente combustibles destilados por el calor del hogar llenan la caldera. Estos gases pueden penetrar por las rendijas del refractario en zonas al rojo del mismo, y el resultado es un soplido del hogar o caldera (rebufo). Las explosiones del hogar pueden estar producidas por acumulación de combustible inquemado que puede sufrir una ignición espontánea. Estas explosiones pueden causar serios daños.

Los sistemas modernos de seguridad de llama y combustión, adecuadamente instalados, ayudan a eliminar muchas, si no todas, las explosiones del hogar con resultado de una combustión defectuosa. Véase el Capítulo 11. El control de la llama principal y de la llama piloto de encendido por células con relés electrónicos (que pueden cerrar el sistema de combustión en un tiempo de 2 a 4 segundos después de la pérdida de la llama) son ahora especificaciones normativas de los equipos de combustión. Se exige hoy en día una purga previa de gases o un barrido de los mismos antes de encender tanto la llama piloto como la principal. Además, las rampas de los quemadores deben dar seguridades extra en sus válvulas de corte y cierre.

El volumen de combustión inherentemente limitado de las calderas de hogar interior y los requerimientos de los combustibles, como, por ejemplo, residuos de madera, a veces exigen un volumen adicional de la cámara de combustión. Esto se produce a menudo con el llamado *hogar holandés*, que es realmente un hogar exterior principal que deja al hogar de la caldera como una cámara de combustión secundaria (Fig. 14.12b).

En la industria papelera, las *calderas de recuperación* representan un riesgo adicional en la posibilidad de explosiones del hogar. Éste es el problema de las reacciones de explosión del agua. La mejor precaución es mantener la totalidad de las partes a presión para evitar la entrada de agua en el hogar a toda costa. La concentración del combustible de licor negro también debe monitorizarse de modo que una solución demasiado diluida no pueda entrar en el hogar y producir allí una reacción de explosión del agua. El uso de agua para lavar los depósitos de la parte inferior de los tubos debe evitarse a toda costa para que no se forme un lecho fundido interior que pueda causar la destrucción de la solera del hogar. El Comité Normativo de Calderas de Recuperación de Licor Negro*, que está formado por la asociación de usuarios, fabricantes y representantes de las compañías de seguros, urge la necesidad de eliminar lo antes posible cualquier rastro de agua que pueda entrar en el hogar. Se recomiendan procedimientos de emergencia para estas situaciones, uno de los cuales es drenar la caldera, lo más rápidamente posible de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, hasta un nivel de 8 pies (2,4 metros) por encima del punto inferior de la solera o suelo del hogar.

El *aire de combustión* para las calderas pequeñas necesita una atención especial. Para asegurar un tiro o depresión para la entrada de aire a una caldera compacta instalada en una sala de calderas cerrada, hay que realizar unas entradas de aire exterior con una superficie media de 2 ft² (0,18 m²) por cada 100 HP de caldera (64.000 kcal/hora)**. La respuesta no puede ser la abertura de las ventanas porque en invierno se mantienen siempre cerradas. De esa manera, a la caldera le falta aire.

* Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, EE. UU.

** *N. del T.*: En España, la normativa UNE vigente fija estas condiciones según el RITE o nueva normativa publicada por el MINER y el IDAE.

Por cada HP de caldera (641,2 kcal/hora) se necesitan alrededor de 10 ft³ de aire/min (0,27 m³/min).

Algunas precauciones a observar en la operación y mantenimiento de un sistema automático de quemador son las siguientes:

1. Cerrar siempre todas las válvulas manuales de combustible antes de trabajar sobre un quemador, desconectar la alimentación eléctrica a las válvulas automáticas de combustible o hacer las dos cosas.
2. No permanecer nunca frente a un quemador o caldera durante el arranque.
3. No manipular nunca manualmente ni pulsar relés a no ser siguiendo las instrucciones del fabricante.
4. No bloquear nunca permanentemente los relés eléctricos con cinta aislante, pegamentos u otros dispositivos.
5. No cambiar nunca la temporización del dispositivo de control y seguridad de llama. Si el sistema está bloqueado, hay que corregir la causa y no el síntoma.
6. No instalar nunca hilos de *bypass* en ningún dispositivo electrónico de seguridad.
7. Antes de arrancar o poner en marcha un quemador, hay que inspeccionar visualmente cada cámara de combustión para asegurarse de que no hay acumulación de combustibles.
8. Mirar y comprobar cada enclavamiento del sistema como seguridad de funcionamiento hasta que sea comprobado de otro modo por el personal competente.

Problemas de tuberías. Las evaluaciones sobre *tuberías* constituyen una parte importante del diseño y mantenimiento de una planta. Muchas plantas industriales reemplazan calderas después de unos veinte años por otras nuevas diseñadas y operadas a mayores presiones. A menudo, las calderas originales trabajaban por debajo de 125 psi (8,8 kg/cm²) y la mayoría de las conexiones de tuberías y juntas de válvulas a través de la fábrica eran de fundición normal de 125 libras (56 kilos). Al instalar nuevas calderas para mayores presiones, deberá tenerse cuidado de reemplazar todos los acoplamientos, válvulas y accesorios de baja presión por otros diseñados para las nuevas presiones de trabajo. Siempre que se arranca con un nuevo sistema, no sólo deben probarse las calderas, sino que debe comprobarse todo el sistema. Cada trozo de tubería tiene materias extrañas depositadas en su interior. A no ser que se limpien adecuadamente por personal familiarizado con las calderas y limpieza de tuberías, de forma que se eviten tensiones y esfuerzos indebidos a las tuberías, puede haber problemas. Los codos, curvas y otras zonas de remanso de la tubería son puntos de depósito peligrosos y deben limpiarse cuidadosamente.

Las roturas y *fallos en las tuberías* de alta presión son un punto de preocupación a causa de las roturas inesperadas de tubos calientes y recalentadores en numerosas instalaciones generadoras de vapor durante los últimos años. Los fallos ocurrieron en tramos largos soldados que tenían más de 20 años de vida, siendo el tipo de material acero al cromo-molibdeno. Se están utilizando programas de inspección periódica para detección de grietas, reducción de espesores, tensiones anormales y métodos de evaluación de tuberías de vapor similares para estimar si una tubería de

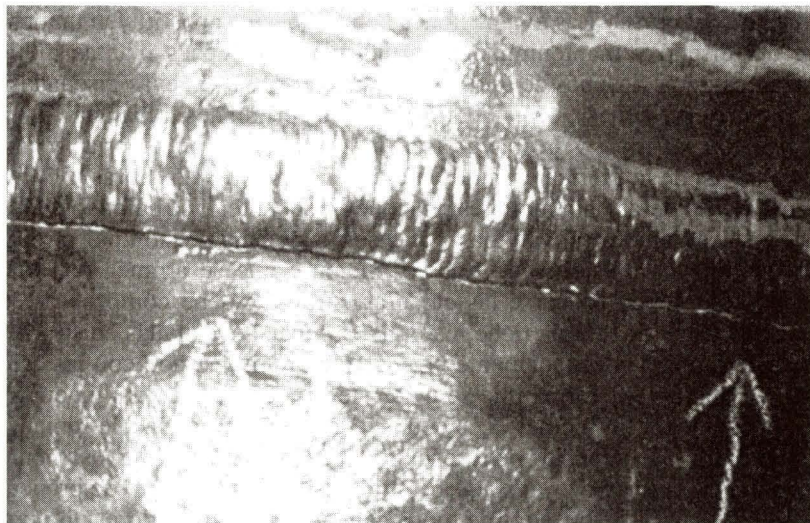
vapor puede seguir dando servicio y ver si son necesarias reparaciones durante las paradas. Muchas instalaciones están reemplazando las tuberías con tubos de moderno acero estirado sin soldaduras para evitar fallos desastrosos semejantes, tales como las explosiones de las tuberías.

Se están utilizando programas de predicción de rotura mecánica y de expectativas de vida para monitorizar la futura vida de antiguas tuberías de vapor.

Cada fallo de la tubería soldada de las centrales generadoras han dado lugar a extensos estudios de soldaduras que han fallado (Fig. 14.13), con diferentes explicaciones dadas para estas roturas como, por ejemplo, tensiones o grietas, inicio de la rotura en el pie de la soldadura, porosidad en zonas afectadas por el calor como inicio de rotura, intrusiones no metálicas y criterios similares como inicio



(a)



(b)

Figura 14.13. Roturas de tubos de vapor recalentado. (a) Rotura longitudinal de soldadura en una línea de vapor recalentado. (Cortesía de *Power magazine*.) (b) Rotura de soldadura circunferencial en una línea de vapor recalentado. (Cortesía de *Babcock & Wilcox Co.*)

de roturas de la soldadura. Las pruebas ultrasónicas con alto grado de sensibilidad son el principal método de inspección utilizado para detectar este tipo de rotura de tubería según las líneas maestras del Instituto de Investigación de Centrales Eléctricas.

Tamaño de tubería y soportes. El diámetro de tubería debería ser el adecuado para unas velocidades de flujo conservadoras y para evitar que resulte una pérdida excesiva de presión por rozamiento. La máxima velocidad recomendada para el flujo de vapor es de 5.000 pies/min (1.500 m/min) para servicio de calefacción (hasta 15 psi = 1 kg/cm²); 10.000 pies /min (3.000 m/min) para vapor saturado a alta presión y 14.000 pies/min (4.200 m/min) para vapor recalentado a alta presión. La compañía Crane ha encontrado velocidades de hasta 20.000 pies/min (6.000 m/min) para vapor sobrecalentado a alta presión en tuberías grandes.

Ejemplo. Para seleccionar el tamaño correcto de tubería, puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$D = 12 \left(\sqrt{\frac{C}{0,7854 F}} \right)$$

donde: C = caudal de vapor, pies/min

D = diámetro requerido de tubo, pulgadas

F = velocidad admisible de flujo del vapor, pies/min

Para seleccionar una tubería apropiada para 12.000 lb/h (5.448 kg/h) de vapor saturado a 300 psi (21 kg/cm²), primero halle la densidad para esa presión, a partir de las tablas de vapor. Para una presión de 300 psi, es 0,67 lb/ft³. Por tanto:

$$\frac{12.000}{0,67} = 17.910 \text{ pies}^3/\text{hora o } 298 \text{ pies}^3/\text{min}$$

Sustituyendo en la fórmula anterior, tenemos:

$$D = 12 \left(\sqrt{\frac{298}{0,7854 \times 10.000}} \right) = 2,3'' \text{ (60 mm) de diámetro}$$

Sería conveniente ir al diámetro siguiente mayor de tubería y, así, el tubo de 2,5'' debería ser el utilizado en este caso.

La densidad del vapor aumenta con la presión; así, el volumen para un peso dado de vapor es menor a presiones más altas, y deben instalarse diámetros de tubo menores.

Los soportes de tubería deberían diseñarse para soportar el peso del tubo lleno de agua. Deberían situarse sobre resortes para servicio pesado para suministrar una fijación adecuada durante el movimiento vertical de la tubería como resultado de la dilatación. Los soportes de tipo colgante deberían ser ajustables por medio de tuerca

roscada en la parte superior del redondo o cable de anclaje, de modo que se pueda hacer una compensación para el ajuste del soporte a la estructura.

La dilatación de una tubería anclada en cada extremo puede producir tensiones severas. Es buena práctica proveer una junta de dilatación, por tubo corrugado comprimible o un bucle tipo omega, para permitir libremente la dilatación de la tubería de vapor. La longitud de dilatación puede calcularse por:

$$(t_1 - t_2) \times L \times 0,0000065 = \text{dilatación, pulgadas (o cm)}$$

Siendo: t_1 = temperatura del vapor.

t_2 = temperatura del lugar.

L = longitud de la sección de la tubería, pulgadas.

Un bucle de tipo *Holly* es una disposición de tubería utilizada para retornar el condensado de los purgadores de vapor a la caldera (Fig. 14.14a).

En operación, se establece un caudal de la mezcla de condensado y vapor del separador de vapor al tanque de recogida, al producirse una ligera caída de presión hacia el tanque de recogida. Esto se cumple teniendo la válvula de venteo ligeramente abierta en una pequeña línea que va desde la parte superior del depósito hasta el calentador o condensador. El tanque de recogida se sitúa con una altura suficiente para dar la presión estática necesaria de modo que el condensado retorne por la presión de caldera por gravedad.

El uso del bucle de tipo *Hartford* se reserva normalmente para calderas de calefacción y elimina la necesidad de una válvula de comprobación para evitar que el condensado retorne hacia atrás por la línea de retorno en el caso de que la válvula de vapor esté cerrada (Fig. 14.14b).

Problemas de válvula de seguridad. El cuidado de la válvula de seguridad en el esquema de operación debería incluir pruebas frecuentes y periódicas de las mismas. En calderas de presiones moderadas, la válvula debería elevarse mediante su palanca al menos una vez por semana de trabajo y la presión debería elevarse hasta el punto de despegue para probarla al menos una vez por año de trabajo. Si la válvula de seguridad no sopla a la presión ajustada, la palanca debe probarse a esta presión, para que la espiga pueda despegarse ligeramente de su asiento. Si la válvula no se libera o no sopla en su asiento en cinco pruebas sucesivas, la caldera debería desconectarse y la válvula de seguridad someterse a una revisión general.

Debido a la acción de corte del vapor de alta presión, las pruebas comerciales de válvulas de seguridad ajustadas a más de 500 psi (35 kg/cm²) no son aconsejables. El fabricante y la autoridad legal de la zona deberían ser consultados sobre este extremo, pero a menudo es prudente permitir que pase más de un mes entre pruebas, excepto para las válvulas de seguridad de sobrecalentador.

Si la válvula de seguridad sopla a menor presión que la normal, según el manómetro, debería comprobarse éste. Si el manómetro está correcto, debería probarse la tubería del mismo y soplarla para estar seguro de que está limpia y libre. Si entonces la válvula de seguridad sopla a una presión muy baja, debería ajustarse por un

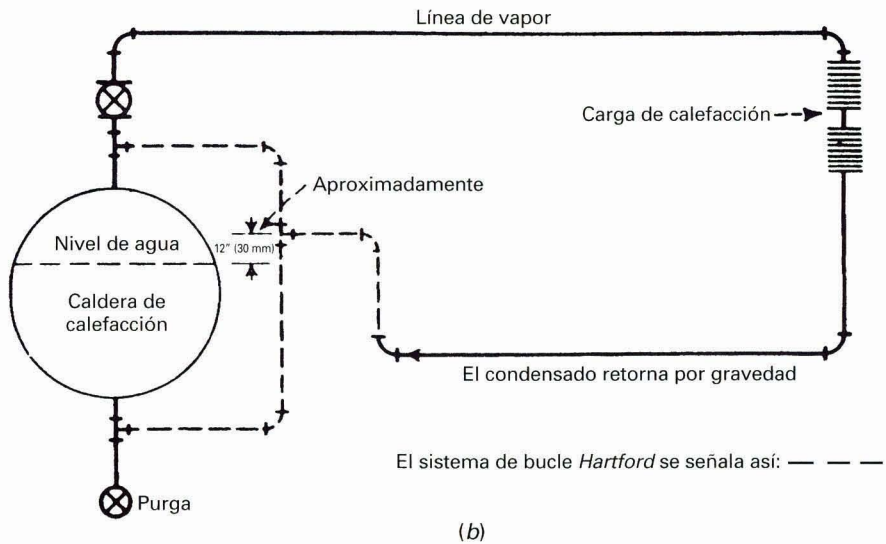
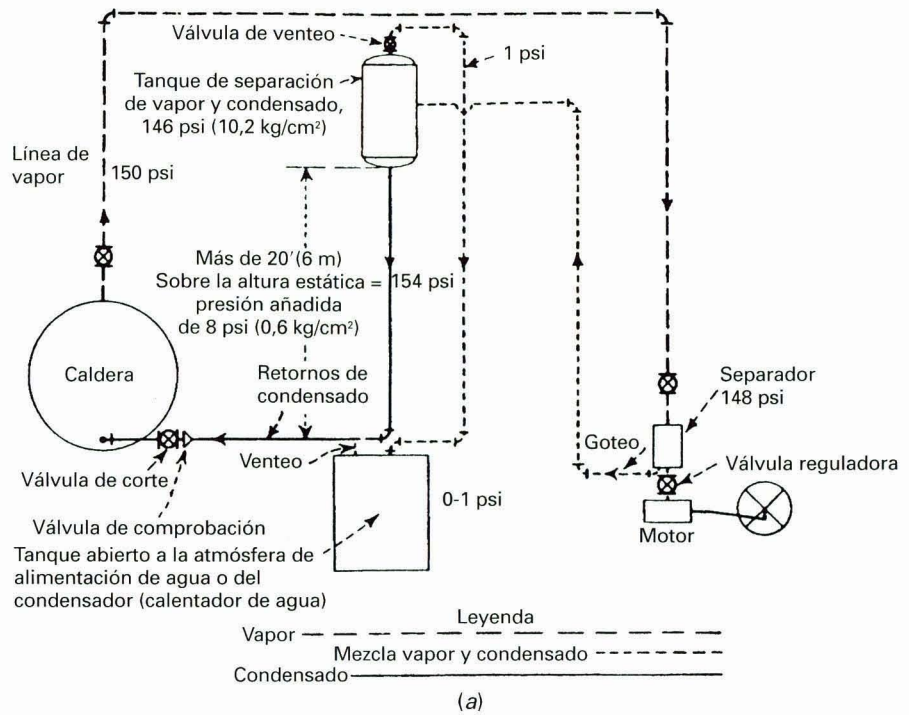


Figura 14.14. (a) El bucle *Holly* retorna condensado a la caldera desde los separadores de vapor. (b) El bucle *Hartford* se usa para retornar condensado en un sistema de retorno por gravedad.

técnico competente, teniendo gran cuidado de que deja espacio suficiente para el resorte cuando la válvula está totalmente abierta. Es mejor comprobar siempre la presión de la caldera en dos puntos distintos de la misma para eliminar la posibilidad de una incorrecta indicación de presión. Cualquier desviación considerable del normal funcionamiento de las válvulas de seguridad debería recibir atención inmediata.

La tubería del escape de la válvula de seguridad puede llegar a cegarse con sedimentos debido a la falta de estanqueidad de la válvula de seguridad. La prueba periódica debería descartar este extremo. Las válvulas de seguridad que pierdan deberían ser limpiadas para evitar fugas.

Instalación exterior. Las calderas compactas o los economizadores pueden situarse en el *exterior* entre la sala de calderas y la chimenea. En temperaturas bajas, la caldera o el economizador deberían drenarse cuando estén fuera de servicio. Cuando estén en funcionamiento, deberían tener un *bypass* de las válvulas de purga que debería abrirse ligeramente para evitar la congelación de la línea de purga.

También, todas las tuberías expuestas fuera del propio sistema de circulación deberían abrirse adecuadamente. Las acumulaciones de cenizas deberían eliminarse periódicamente para que no dificulten el tiro ni la transferencia térmica. Las cantidades grandes de cenizas en la base de los economizadores pueden lavarse con una manguera y agua.

Los *servicios auxiliares* deben también recibir atención. Si se desprecian pueden producirse serias explosiones. Los calentadores desaireadores han fallado por grietas alrededor de las soldaduras que no fueron liberadas de sus tensiones residuales durante la fabricación. El Código permitía esto en recipientes no calentados o vasijas sometidas a presión, pero no a calor. Véase el Capítulo 12 sobre servicios auxiliares para inspecciones requeridas en calentadores desaireadores.

Una seria explosión recientemente implicó a un tanque de condensados con venteo (véase la Figura 14.15). La investigación indicó que su flotador para el control de alimentación de agua dentro del tanque de condensados se perdió y quedó sin venteo, convirtiéndose así el tanque de condensados en un recipiente sometido a presión. Sin válvula de seguridad en este tanque, la presión aumentó hasta que dio lugar a una violenta explosión. Una válvula de seguridad ajustada a la presión admisible para el tanque de condensados hubiese liberado la elevada presión. La mayoría de los ingenieros de seguridad también recomienda una malla o barrera similar alrededor del orificio de ventilación que pueda evitar pérdidas de bloqueo del dispositivo de apertura de venteo y así evitar una subida de presión en el tanque.

Consideraciones a añadir sobre las calderas. El control de la corrosión y del deterioro eventual del equipo de caldera es tan importante durante las paradas como durante los períodos de trabajo. La corrosión puede iniciarse por el oxígeno del agua y por el pH bajo. Si el agua o el oxígeno se mantienen fuera del sistema, los otros elementos no lo dañarán.

Las calderas de fundición y acero son susceptibles de daños por corrosión durante las paradas veraniegas. El hollín, si no se limpia, formará ácido sulfúrico en la humedad o la transpiración de los sótanos. El agua, si no está tratada, corroerá el interior de la caldera. El quemar residuos intermitentemente en una caldera puede

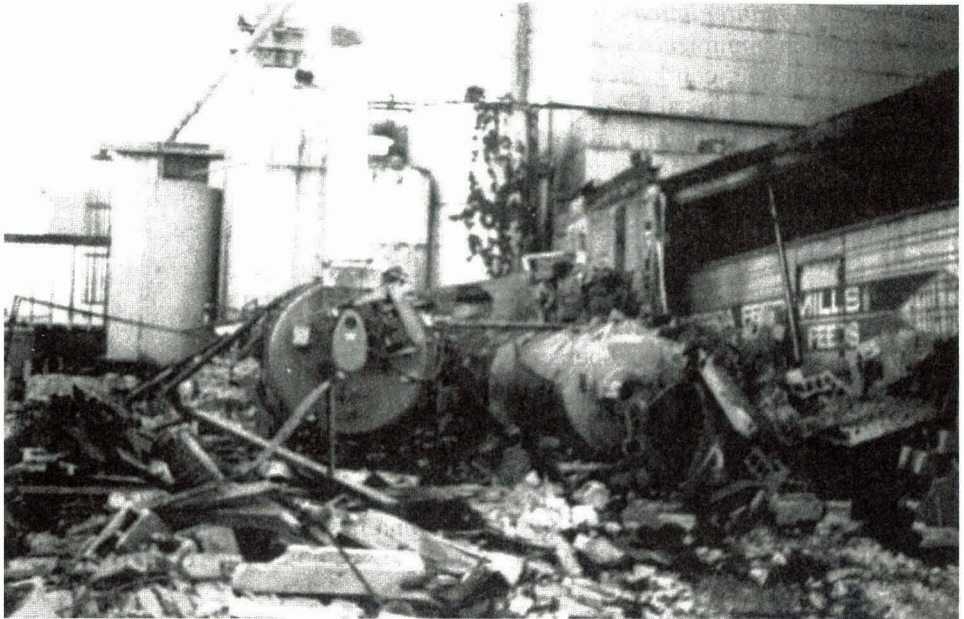


Figura 14.15. Explosión del depósito de un condensador debido a un venteo obstruido que dañó seriamente a la instalación total de sala de calderas. (Cortesía de *National Board Bulletin*.)

causar un calentamiento en seco, si no se vigila el nivel de agua y puede también producir un ataque ácido en el lado del hogar cuando la caldera está parada. Las calderas de calefacción deberían limpiarse y lavarse por el lado de agua. El lado de fuego debería limpiarse de todo depósito de hollín. El gran problema con el método seco es mantener el interior seco. Se soplará con aire independiente exterior, aire caliente, después de vaciar la caldera. Cuando esté seca, coloque vasijas con cal viva en el interior; después cierre toda las aberturas de modo estanco. Coloque bandejas entre los tubos y una en cada calderín de vapor (en las del tipo de tubos de agua) y en el fondo de virola (en los de tipo de tubos de humos). Abra la caldera cada treinta días y, si la cal está saturada de agua, cámbiela (o cualquier material vaya a utilizarse).

El método de *almacenaje húmedo* es mejor cuando las heladas no son problema y si la unidad no se va a necesitar al menos en un mes. Después, de preparada para almacenaje, llene la caldera hasta el nivel de agua con agua desaireada. Si no se usa agua desaireada, abra un venteo superior. Después, haga un ligero fuego para hervir el agua durante ocho horas, de forma que los gases disueltos venteen a la atmósfera. Utilice 1,5 libras (700 gramos) de sulfito sódico por cada 1.000 galones (3.783 litros) de agua almacenada en la caldera para protegerla contra el oxígeno. La concentración debería ser de alrededor de 75 ppm. Use sosa cáustica para obtener una alcalinidad de 375 ppm. Mantenga la temperatura del agua tan baja como sea posible y compruebe el agua semanalmente en las calderas pequeñas compactas normalmente utilizadas en plantas industriales.

Programas de mantenimiento e inspección. La mayoría de los problemas de las calderas pueden minimizarse con el establecimiento de programas de mantenimiento e inspección que, con la marcha automática, a menudo no es comprendido. La operación segura de la caldera requiere el establecimiento de una gestión fiable de seguridad, eficacia y continuidad de la operación y esto requiere un soporte de gestión de los operadores y personal de mantenimiento para corregir los problemas de planta a medida que aparezcan. Muchos dispositivos automáticos han sido desarrollados para hacer más fácil el control de la caldera, además de más seguro y eficiente. Pero todo este equipo automático requiere más trabajo de cabeza para reemplazar la fuerte experiencia del ingeniero de ayer. El equipo automático debe ser comprendido y mantenido. Si esto falla, el ingeniero de operaciones debe ser capaz de coger el control manual de muchas operaciones en una segunda lectura separada.

Pueden ocurrir accidentes en las calderas. Aquí se presentan algunos de los motivos:

1. Más operaciones automáticas desatendidas de calderas, con relación completa sobre los controles automáticos de sobrepresión y prevención de daños del lado de fuego. Aunque los controles pueden funcionar mal de muchas maneras, su instalación puede llevar a una falsa sensación de seguridad.
2. Fallo de pruebas de válvulas de seguridad sobre una base consistente y regular.
3. Fallo de mantenimiento de caldera y equipos auxiliares. Esto último incluye la alimentación de la caldera de reserva y el corte por bajo nivel de agua. El mantenimiento, a menudo, se desprecia en el tratamiento de agua, limpieza y comprobación de controles.
4. A medida que las calderas automáticas se hacen más complejas en dispositivos de control, interferir o bloquear los controles de seguridad puede llevar a un fallo.
5. Las tasas de combustión más elevadas con combustible en suspensión en calderas más compactas puede conducir a un calentamiento en seco o a unas relaciones inadecuadas de aire/combustible que disparan las explosiones en el lado de fuego si los controles de seguridad no trabajan suficientemente rápido.

Los resultados de una explosión de caldera no deberían ser minimizados. Incluso una caldera pequeña puede causar un daño terrorífico. Véase la Figura 14.16. Realmente las calderas pequeñas deben considerarse de más riesgo que las que están en las grandes plantas, debido a su frecuente falta de atención competente. Sin embargo, una adhesión cercana al código ASME*, para la construcción y mantenimiento de las calderas de potencia, y un grado elevado de operación e inspección eliminaría prácticamente la posibilidad de un accidente de esta naturaleza.

Costo de las paradas forzosas. La operación de una planta de calderas está generalmente tasada por el rendimiento de trabajo, costes, disponibilidad y, lo que es a veces tomado como garantizado y descontado, una operación segura. A medida que el tamaño y capacidades aumentan, la posibilidad de una parada forzosa, especialmente la que resulta de una rotura de tubos o de una explosión, toma un significado

* N. del T.: O a la normativa legal UNE y Miner vigente en España.

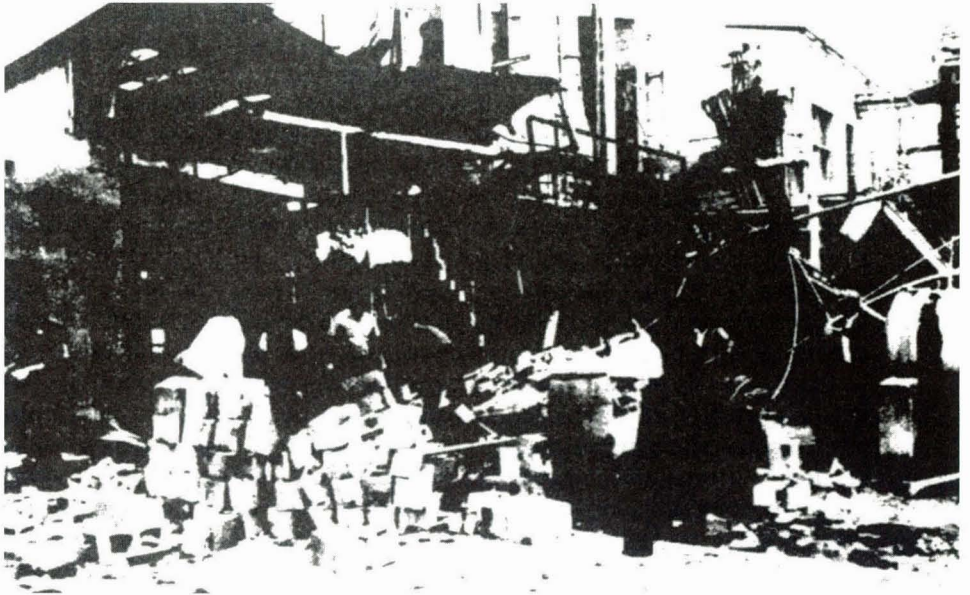


Figura 14.16. Explosión de caldera debido a un bajo nivel de agua, produciendo la rotura de las partes sometidas a cierta presión. (*Cortesía de Factory Mutual Engineering Co.*)

más importante. La duración de la parada y el coste de las reparaciones son proporcionales al tamaño de la caldera. Así que deben hacerse todos los esfuerzos necesarios para prevenir fallos en las partes a presión de la caldera mediante la adecuada inspección y un mantenimiento cercano. Las inspecciones visuales son necesarias todavía para tener la certeza de que todas las partes y zonas de caldera, tanto interiores como exteriores, están controladas y comprobadas tan de cerca como sea posible.

En las instalaciones de tipo antiguo, esto era posible porque la mayor parte de las superficies de las piezas y partes bajo presión eran accesibles, porque así lo hacían posible los antiguos diseños. Y se suministraban equipos con más aberturas. Pero con las modernas calderas, esto a menudo no es posible. Así, la inspección de grandes calderas también incluye una revisión de lecturas de instrumentación y puntualizar en zonas de problemas. Por ejemplo, un aumento en la caída de presión en un haz tubular puede indicar ensuciamiento de tubos en ese banco y esto es más rápido que mirar en los tubos.

En grandes plantas, los datos de las salidas se comparan con los de las entradas y esto puede ayudar a puntualizar posibles zonas de la caldera o de sus controles que pueden necesitar atención. Por ejemplo, una pérdida de rendimiento puede requerir una revisión de las condiciones internas de las superficies de transferencia térmica o quizá de los controles de combustión. Las causas pueden ser muchas y se requiere un personal experimentado para hallar la razón, por revisión de los datos operativos, de una caída de las condiciones o datos de salida.

Programas de mantenimiento. Los operarios tienen ciertas rutinas o reglas generales a seguir diarias, semanales o mensuales y, muy a menudo, éstas están deta-

lladas por las instrucciones del fabricante de la caldera para el tipo particular de que se trate. Unas líneas muy generales son:

1. El *mantenimiento general* incluye observar las fugas de vapor, agua y combustible y repararlas tan pronto como se tenga constancia de ello. La estanqueidad de las conexiones que pertenecen a partes bajo presión o líneas de combustible, válvulas y conexiones similares, incluyendo el control de los aparatos, debería ser parte de este trabajo rutinario. El correcto funcionamiento de manómetros, controles e instrumentos debe observarse en todo momento.
2. El *mantenimiento diario* incluye comprobar la operación del equipo de encendido y equipos auxiliares conectados, como quemadores, toberas, bombas, depósitos de almacenaje de combustible, dispositivos de control de llama, y operación general del quemador en lo que respecta a relaciones aire/combustible, temperaturas de chimenea, humo e ítems similares, implicando una combustión adecuada. El mantenimiento del nivel de agua comprende la comprobación de columnas de agua, conexiones del nivel de vidrio y soplado de la columna para estar seguro de que las lecturas del nivel son correctas. Siga las recomendaciones de purga según los resultados de la prueba del agua. Compruebe las muestras de agua de caldera y agua de alimentación según las directrices o líneas maestras del programa de tratamiento de agua para comprobar que están siguiéndose en la alimentación del agua de caldera. Limpiar el lado de fuego del hogar utilizando los sopladores de hollín, si es preciso y si está equipado para ello.
3. En muchas plantas, las lecturas *semanales o mensuales* se toman para comprobar el rendimiento de la caldera, así como la cantidad de combustible quemado (poder calorífico); y ésta se compara con los BTU (kcal) de salida para el proceso en ese período.

Las lecturas del ordenador y anotaciones de los ítems necesitan atención durante la inspección anual, lo que es otra característica del mantenimiento.

Tipos de mantenimiento. Muchas plantas trabajan sobre una base de mantenimiento sobre rotura, lo que significa que al equipo se le permite funcionar hasta el fallo, antes de ser reparado o sustituido. Este tipo de mantenimiento requiere poca planificación, pero produce una utilización ineficiente de los trabajadores, que están pagados con horas extra en las emergencias y producen tiempos de servicio excesivos, así como de producción. El *mantenimiento preventivo* combina un análisis predictivo y unas pruebas técnicas para determinar la frecuencia de la revisión general o de la inspección parcial, así como de la reparación o sustitución para maximizar el tiempo operativo y eliminar trabajo innecesario de desmontaje general, basado sólo en pruebas frecuentes. Algunos trabajos de inspección son dictados por requisitos legales y normalmente son utilizados como punto de partida para el programa de trabajo o de mantenimiento preventivo. A medida que las presiones y temperaturas aumentan y el efecto de un accidente o el gasto de una parada se hace notar, las inspecciones legales deben complementarse con programas de mantenimiento preventivo de planta.

Con el advenimiento del diagnóstico monitorizado en línea, el *mantenimiento predictivo* es ahora un método aceptado de control de costes de mantenimiento me-

dante la monitorización de los parámetros críticos de las máquinas y variables de proceso, como las de servicio cíclico, y después comparar estos resultados de lecturas pasadas o con las lecturas iniciales básicas. Los cambios que afectan a la eficiencia o producción pueden así reconocerse y el mantenimiento puede ser llevado a cabo para dirigir los resultados hacia las lecturas de referencias de la línea. Esta aproximación al diagnóstico sirve también para monitorizar las condiciones mecánicas. Por ejemplo, mantener un registro de espesores de tubo debido a la erosión y sustituir los tubos afectados cuando se alcanza un espesor mínimo.

El problema del mantenimiento debería ser analizado con la visión de cuánto costaría no llevar a cabo un programa de mantenimiento activo. Los gastos evitados estarán con toda seguridad muy por encima, en frecuencia y extensión, cuando dicho programa se cierre que cuando está en funcionamiento.

Las instalaciones grandes utilizan un sistema de tablas-índices e incluso han establecido un sistema de mantenimiento y control por ordenador. Se hace una tabla por cada pieza del equipo y se tiene en ella toda la información e identificación, con espacio para entrada de registros y datos de pruebas. A veces, puede usarse un sistema de señalización para indicar la fecha en la que el equipo debe controlarse para pruebas, desmontaje general de inspección. Incluso las plantas más pequeñas pueden crear su sistema que dará esta información en una tabla-índice en orden alfabético o en un disquete de ordenador para ser revisado diariamente.

El mantenimiento preventivo en una planta industrial de calderas ha sido influido por los requerimientos legales y se lleva a cabo para proteger al personal y para evitar daños al equipo que puedan conducir a costosas reparaciones y pérdidas de capacidad productiva. De hecho, el mantenimiento preventivo dirigido específicamente a mantener la eficiencia de la caldera ha sido una excepción más que una regla. Pero el aumento de costes del combustible ha colocado y otorgado un énfasis creciente al mantenimiento consciente, que es necesario para mantener los rendimientos elevados. Estas prácticas de mantenimiento preventivo se justifican fácilmente sobre una base económica.

El mantenimiento de la caldera relacionado con la eficiencia es el que está dirigido a corregir cualquier condición que aumente el coste de combustible requerido para generar una cantidad dada de vapor. Así, para una carga específica de caldera, cualquier condición que lleve a un aumento en: (1) temperatura de gases de combustión; (2) caudal de gases de combustión; (3) contenido de cenizas de los combustibles por gases de combustión; (4) pérdidas de convección por radiación del exterior de la caldera, conducto o tuberías; o (5) tasas de purga, se considera un ítem relacionado con la eficiencia de mantenimiento. Generalmente, la atención a tales ítems también puede evitar más consecuencias serias que pudieran causar daños al equipo o al personal.

Uso de registros. Un registro, en el que cada operador pueda mantener lecturas horarias y notas de cualquier acontecimiento inusual, es de gran valor. Este valor aumenta por el registro de notas sobre lecturas y observaciones de las partes más remotas de la planta que son raramente visitadas durante el curso normal de los turnos. Un operador, a no ser que sea totalmente incompetente, duda en tomar una lectura sin observar las condiciones de los equipos.

La «cámara de compensación» central para el estudio diario y la escritura de todos estos registros depende del tamaño de la planta. En cualquier caso, los informes deberían recibir una cuidadosa atención y después ser guardados sistemáticamente para utilizarlos como referencia en cualquier momento. Las lecturas más importantes, como consumo de combustible, vaporización y temperatura de gases, deberían ser convertidas en eficiencias de registro de forma gráfica. Un gráfico mostraría diaria, semanal o mensualmente los progresos de estos resultados donde cada responsable de operaciones pudiera verlos. Una operación en depreciación gradual se ve y muestra de este modo, porque, de otra manera, una pérdida podría pasar desapercibida.

Las calderas individuales tendrían su lógica para registrar la operación y mantenimiento de los controles y dispositivos de seguridad, como se ve en la Figura 14.17. Las pruebas y comprobaciones mínimas mostradas ayudarán a los operarios a determinar si la caldera y sus controles están en buenas condiciones operativas. Las pruebas deben realizarse con las frecuencias establecidas y, si se encuentran algunos malos funcionamientos, deberán ser corregidos inmediatamente. Una caldera con una válvula de seguridad defectuosa, un control de nivel inadecuado, o un dispositivo de corte por bajo nivel no operativo nunca deberían funcionar sin vigilancia hasta que estos dispositivos vitales estén en buenas condiciones de trabajo.

Las hojas de registro son un recordatorio forzoso para comprobar ciertos componentes de una caldera, evitar perturbaciones que se desarrollen posteriormente y notar si se está trabajando correctamente. Una de estas hojas registrará todos los datos de funcionamiento importantes, tales como presiones y temperaturas, y también debería registrar procedimientos, como los tiempos en que se efectúan los sopladros de hollín y las columnas de agua se purgan, así como cuándo se operan las válvulas de purga. Un registro continuado de datos operativos y procedimientos importantes llevados a cabo está así a mano cuando se necesite. También es importante que la lógica testifique todo lo relativo a las seguridades.

Cualquier operación irregular o eventualidad debería registrarse en un libro por separado, con una descripción de la irregularidad y las medidas correctivas adoptadas. En este libro deberían estar todas las órdenes escritas e inicializadas por el operador.

Los bomberos u operadores encargados de turno deberían, por obligación, leer las anotaciones hechas por los turnos o vigilantes anteriores. Así sabrían qué ha sucedido en las operaciones pasadas, qué órdenes han sido emitidas para operación futura y qué problemas ha habido, para poder controlarlos. Deberían ser iniciados en estos temas para los cuales son responsables, de modo que puedan estar familiarizados con la situación. Las hojas de registro son proporcionadas por algunas compañías aseguradoras para pequeñas plantas de baja presión y también para calderas industriales de alta presión. Muchas plantas diseñan sus propias hojas para registrar los datos pertenecientes a los detalles específicos y disposición de sus fábricas.

El *buen orden y disposición* es otro ítem de mantenimiento que necesita atención. En la sala de calderas debe existir la limpieza y operación sin fugas. De otro modo, en una planta sucia, puede esperarse el aumento en los costos de operación y mantenimiento y hasta accidentes y tiempo perdido debido a enfermedad. Pero del personal de operación no puede esperarse que mantenga la limpieza si no se han dado todos los pasos razonables para evitar el polvo y la suciedad. Nada desanima más a aquellos que limpian la planta que tener montones de ceniza y carbón de la reparación de las grietas de una caldera, justo después de haber limpiado la planta.

PROBANDO

COLUMNA DE AGUA Y NIVEL DE VIDRIO: Abrir la válvula de drenaje rápidamente y purgar agua del nivel de vidrio y de la columna. Cuando se cierre el drenaje, el nivel de agua deberá recuperarse rápidamente.

CORTE DE COMBUSTIBLE POR BAJO NIVEL DE AGUA Y CONTROL DE NIVEL DE AGUA: Drenar la cámara del flotador cuando el quemador esté funcionando. La operación adecuada del control deberá cortar el quemador y arrancar la bomba de alimentación de agua. Si el equipo de control es de tipo probeta o de otro tipo que requiera bajar el nivel de agua de la caldera para probar, NO baje el nivel de agua por debajo de la parte inferior visible del vidrio.

REGISTROS DE CALDERA DE ALTA PRESIÓN
LECTURAS TOMADAS CADA 8 HORAS. CONTROL DE

Caldera N.º _____
Semana N.º _____

	LUNES			MARTES			MIÉRCOL.			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			DOMINGO			
Control o comprobación. Cada 8 horas vigile:	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	8 a 4	4 a 12	12 a 8	
Nivel correcto de agua																						
Presión vapor, psi (kg cm ²)																						
Presión de agua de alimentación, psi (kg cm ²)																						
Temperatura del agua de alimentación																						
Temperatura del condensado																						
Temperatura de los gases de combustión, °F (°C)																						
Corte por bajo nivel de combustible: comprobado																						
Vidrio del nivel de agua limpio																						
Bomba alimentación agua: correcto funcionamiento																						
Tanque del condensado y su flotador: comprobados																						
Quemador: funcionamiento normal																						
Suministro del combustible correcto																						
Seguridad de llama: correcta																						
Tratamiento agua: comprobado																						
Purga caldera: realizada																						
Válvulas de seguridad: mensualmente comprobadas																						
Iniciales del operario																						
Anotaciones																						

Figura 14.17. Los registros de las calderas de alta presión permiten registrar y comprobar los controles y los dispositivos de seguridad. (Cortesía de Royal Insurance Co.)

Los ahorros ganados por el largo retraso de las reparaciones necesarias no son económicos. Deberán tomarse todas las medidas necesarias para evitar la suciedad y, después, debe esperarse un esfuerzo continuo de los responsables del mantenimiento de la limpieza.

Pruebas. Los programas de prueba en la planta de calderas son esenciales si se desea que las eficiencias se mantengan a escala elevada. Incluso aunque esté instalado un complemento completo de instrumentos de registro e indicación para per-

mitir una operación más económica, estos instrumentos deberían ser recalibrados periódicamente y comprobados por pruebas actualizadas.

Hay algunas funciones de planta para las cuales no se han desarrollado aún instrumentos que den lecturas directas por lo que se necesitan métodos analíticos para obtener la información deseada. Las pruebas de combustible y agua son ejemplos de los métodos empleados para comprobar este grupo de funciones.

En las plantas pequeñas, normalmente es suficiente con comprobar cada lote de combustible recibido. Pero las plantas grandes, que almacenan carbón en el exterior, encuentran este sistema impracticable y para ellas es necesaria una prueba periódica del combustible a medida que se va quemando. De modo similar, una planta pequeña puede encontrar que es suficiente comprobar el agua de caldera una vez por semana, pero una planta grande trabajando bajo condiciones más variables encuentra necesario hacer estas pruebas al menos una vez al día.

Las pruebas y calibraciones de manómetros y caudalímetros deberán llevarse a cabo de modo sistemático y según un plan unitario. La fecha de la prueba y las iniciales de las personas que la hacen deberían imprimirse en una etiqueta y pegarse al aparato o registrarse de alguna manera para referencias futuras.

Los registros computerizados y los análisis de datos están siendo practicados ahora en los sistemas grandes de calderas. Esto no elimina la necesidad de revisión periódica de los datos desarrollados para mantener la eficiencia del equipo, especialmente cuando puede sufrir un conflicto entre las necesidades de producción y la operación fiable de los equipos.

Las *pruebas de los dispositivos de seguridad* son de una consideración extremadamente importante para mantener una planta con seguridad. Esto comprende válvulas de seguridad, dispositivos de corte de llama por presión, dispositivos de seguridad de llama, enclavamientos de ventiladores, quemadores y bombas de alimentación, así como dispositivos de corte por bajo nivel de agua.

El nivel de agua bajo es una causa frecuente de paradas de caldera, especialmente en calderas compactas automáticas. Deben comprobarse periódicamente tres zonas principales para evitar accidentes por bajo nivel de agua:

1. *Sistema de alimentación de agua:* Debe tener la capacidad de mantener el nivel normal de agua en la caldera.
2. *Controles de seguridad por bajo nivel de agua:* Deben indicar cuándo el nivel de agua en la caldera cae por debajo de los límites prescritos.
3. *Actuadores del corte de combustible:* Deben ser capaces de interrumpir el flujo de combustible cuando reciben una señal de los sensores de nivel bajo de agua.

Es necesario comprobar los *controles de flotación* periódicamente para estar seguro de que se mueven con libertad. En las calderas de potencia que trabajan las 24 horas del día, esto debería hacerse en cada turno; para calderas de calefacción, es suficiente con hacerlo una vez por semana. Nótese que los controles de flotación a menudo se quedan pegados o enlodados cuando el lodo o los sedimentos se acumulan en los flotadores. Evite esto purgando la cámara de flotación diariamente. También desmonte todos los componentes del flotador una vez al año y limpie la incrustación y sedimentos manualmente de todos los mecanismos de operación. Una nota más: purgue la columna de agua después de examinar los controles de flotación; límpielos cuidadosamente durante la inspección anual.

Los controles de nivel de tipo *electrodo-probeta* requieren comprobación periódica en las zonas siguientes:

- Examinar los aisladores por donde los electrodos penetran en la virola, chapa de caldera o columna de agua para asegurarse de que no están rotos o puenteados con suciedad por humedad. Esto podría originar que la corriente fluyera desde el electrodo a la chapa o virola de la caldera, destruyendo el valor sensible del electrodo (la sensibilidad del mismo).
- Mirar si hay conexiones rotas en los electrodos y cableado donde tocan la caldera. Estas condiciones también pueden limitar el valor de la sensibilidad del electrodo o probeta.
- Asegurarse de que los electrodos que están instalados son de la longitud apropiada cada vez que se cambian. De otro modo, puede ocurrir que se instalen unidades que señalan un punto por debajo del nivel requerido de agua.
- Minimizar las incrustaciones, sedimentos y lodo en un electrodo montado en la columna de agua para cortar el circuito eléctrico que estas impurezas podrían completar, dando un falso nivel de agua.

Mantenimiento e inspecciones anuales. El programa de mantenimiento e inspección anual comprende comprobar el sistema total de caldera, incluyendo los servicios auxiliares. Las calderas grandes pueden tener un representante del servicio del fabricante presente para ayudar y asistir a la inspección y hacer ajustes en los controles u otros problemas de rendimiento notados por los operadores. El mantenimiento incluirá la limpieza interna y externa de las superficies calefactoras, inspeccionando y vigilando los desgastes y daños por depósitos y corrosión y haciendo las reparaciones necesarias de modo que todo el sistema de caldera pueda volver al servicio apropiadamente.

Hay numerosas razones para hacer las inspecciones sistemáticas de calderas, pero el punto culminante es asegurar un servicio seguro y fiable. Las calderas se ven afectadas por las condiciones de servicio. Continuamente están produciéndose erosiones, roturas, adelgazamiento de materiales, ensuciamiento, desgastes y otros deterioros metálicos por efectos del servicio.

Cada tipo de caldera tiene su propia zona particular para ser vigilada, bien a causa de los efectos del proceso o bien por la naturaleza de su diseño y aplicación. Algunas calderas pueden tener un riesgo inherente relacionado con las propiedades del material. Por ejemplo, una caldera de fundición tiene un riesgo de agrietado o rotura si, en marcha, se produce un salto demasiado grande de temperatura. Los programas de inspección se modernizan usualmente en función de las necesidades de la planta y de las condiciones físicas y factores económicos que pueden influir en las variables de salida o fiabilidad de la planta. Desde una perspectiva amplia de seguridad, un programa de inspección puede consistir en las siguientes actividades:

1. Establecimiento de las condiciones del banco de pruebas cuando el equipo es nuevo o no ha sufrido revisión general amplia. A esta evaluación inicial ayudaran las tablas-registro y el código de los datos de construcción.
2. Ajuste y establecimiento de un programa operativo de inspección para ver si la caldera está funcionando dentro del rango de parámetros establecidos y dentro de las tasas de presión y temperatura. Esto incluirá una comproba-

- ción de las alarmas, cortes y dispositivos de reducción de presión que protegen contra las condiciones anormales.
3. Revisión de la eficiencia del rendimiento con personal de operación y pruebas, y si la caldera puede requerir limpieza interior para restaurar el rendimiento en producción. Una revisión de presiones, temperaturas, caudales y similares indicativos de rendimiento normal y anormal ayudarán a determinar si se requiere una inspección interna.
 4. Revisión de los incidentes pasados de fallos, condiciones anormales o descubrimiento de grietas para desarrollar modelos de inspección en grietas por fatiga después de un determinado número de ciclos. Esto requeriría coordinación con el personal operativo y mantenimiento de un cuidadoso registro.
 5. Llevar a cabo revisiones similares en puntos tales como tratamiento de agua, concentraciones de mezclas, etc., donde los análisis pasados sobre roturas indican la necesidad de controlar estos elementos para evitar nuevas roturas por tensiones de corrosión, grietas o condiciones similares de deterioro.
 6. Cuando los cálculos de la tasa de desgaste y los registros indican que las tolerancias de corrosión pueden haberse sobrepasado, promover inspecciones más frecuentes para seguir la pista a esta acción debilitadora.
 7. Determinar la condición en que se hallan las válvulas y conexiones durante las inspecciones operativas para descubrir si está ocurriendo una fuga a través de elementos destacables, como empaquetaduras y asientos de válvulas.
 8. Seguir las instrucciones del fabricante; la mayoría de los fabricantes tienen instrucciones explícitas sobre qué inspecciones pueden necesitarse para sus equipos.
 9. Cooperación con el inspector jurisdiccional cuando se realice una inspección oficial ordenada.

Tipos de inspecciones. Las inspecciones pueden dividirse generalmente en los siguientes tipos:

1. Inspecciones oficiales o legales.
2. Inspecciones internas.
3. Inspecciones externas o de operaciones.
4. Inspecciones y pruebas no destructivas (NDT).

Varios estados y municipios tienen leyes concernientes a la inspección de calderas. El propósito principal de estas leyes es proteger la vida de los empleados y público así como evitar daños a la propiedad. La legislación impone normas para el diseño, instalación e inspección. Éstas son normalmente reglas ASME o reglas NB, hechas normas legales*. La mayoría de las leyes exigen y proporcionan inspección periódica de calderas que vienen con su alcance y mediante inspectores estatales, municipales o de compañías de seguros**. El propietario u operador debe arreglar los trámites para cumplir con las inspecciones en los intervalos requeridos. Para

* *N. del T.*: En España, normas UNE y normas emitidas por el MINER.

** *N. del T.*: En España la inspección compete al estado (MINER) o a las comunidades autónomas (que tienen sus competencias transferidas del estado) o incluso a los municipios en ciertos aspectos concernientes sobre todo a la seguridad de los edificios frente a incendios, explosiones, etc.

calderas de vapor, la exigencia es normalmente de inspección anual interna y una inspección externa seis meses después. Las inspecciones de las calderas de calefacción de baja presión pueden ser anuales o cada dos años, dependiendo de las jurisdicciones*.

Seguridad en la ejecución de inspecciones internas

Entrada al recipiente. La entrada al recipiente o vasija para inspección interna requiere un sistema seguro de aproximación para evitar la asfixia o el contacto con residuos peligrosos tóxicos. Una vasija previamente llena de un contenido peligroso deberá ser tratada con vapor y lavada hasta que su contenido se haya reducido a un límite tolerable.

Ninguna persona podrá llevar a cabo una tarea peligrosa al entrar en una vasija o *espacio confinado* hasta que se haya editado y otorgado un permiso firmado por la persona autorizada. El permiso debería tener como parte de su lista de prueba algo que indicase lo siguiente:

1. La atmósfera dentro de la vasija o espacio confinado ha sido probada y hallada segura para entrar, todas las líneas necesarias han sido vaciadas o desconectadas y las líneas han sido listadas e identificadas. Donde las líneas no pueden ser vaciadas a causa de interferencias con producción, las válvulas de la vasija deberán estar cerradas y bloqueadas. La gente que está trabajando dentro debe colocar letreros de alerta en las válvulas. Si las válvulas de una vasija que contenga o haya contenido sustancias peligrosas fallan en su mantenimiento estanco cerrado, no se podrá entrar a la vasija hasta que las condiciones hayan sido corregidas y la situación sea segura.
2. La vasija tendrá una abertura de acceso de suficientes dimensiones para permitir a una persona, provista de un arnés de seguridad, línea de unión vital y respirador de emergencia, entrar y salir fácilmente.
3. Todo el equipo relevante de seguridad estará presente, incluyendo una lista del mismo y confirmación de que está en funcionamiento.
4. Un ventilador debe ser colocado y estará en funcionamiento.
5. Se han editado instrucciones específicas para hacer con seguridad las reparaciones o inspección.

El permiso se emite para una persona autorizada del equipo de mantenimiento, cuya firma debe constar, indicando que ha sido leído y que el equipo ha sido aceptado para el trabajo. Cada permiso sólo es válido para el turno en el cual ha sido emitido. Si la tarea requiere más tiempo, el permiso deberá firmarse por detrás por el editor y se hará un nuevo permiso después del cambio de turno.

Si se precisa, se harán comprobaciones frecuentes con un explosímetro, cronómetro o ambos para certificar que hay seguridad para entrar allí donde el contenido haya sido inflamable. Las vasijas o recipientes deberán purgarse con

* *N. del T.*: En España los plazos son similares variando la legislación según sea el tipo de combustible: gas natural, líquido o sólido. La normativa ITIC del MINER, actualizada y sustituida ahora por la normativa RITE, es la vigente para instalaciones de calefacción y acondicionamiento de aire.

aire para enfriarlos y para eliminar cualquier falta de oxígeno. Deberá hacerse una prueba de nivel adecuado de oxígeno por medio de una probeta de oxígeno, Orsat, o analizador cromatógrafo (preferiblemente por dos métodos de prueba o sistemas diferentes).

Almacenamiento con manta de nitrógeno. Este método se usa para limitar la entrada de aire a las calderas que van a estar largo tiempo en estado de reserva. Todos los puntos bajos de drenaje deben utilizarse para asegurarse de que todo el agua ha sido eliminada de la caldera. Véase la Figura 14.18. Una presión de la manta de nitrógeno de 5 psi ($0,35 \text{ kg/cm}^2$) es la utilizada normalmente.

Las inspecciones internas de una caldera que ha sido almacenada con manta de nitrógeno requieren una especial atención para la purga de este gas de los calderines o colectores. Debería utilizarse un monitor de falta de oxígeno en el interior de los calderines y colectores para asegurarse de que hay al menos un 19 por 100 de oxígeno en todas las zonas de la caldera, para evitar cualquier daño físico a la persona que entre a la virola, colector o calderín.

Inspecciones jurisdiccionales (legales). Una de las inspecciones legales normalmente requeridas en calderas de alta presión es la inspección interna. El propósito de

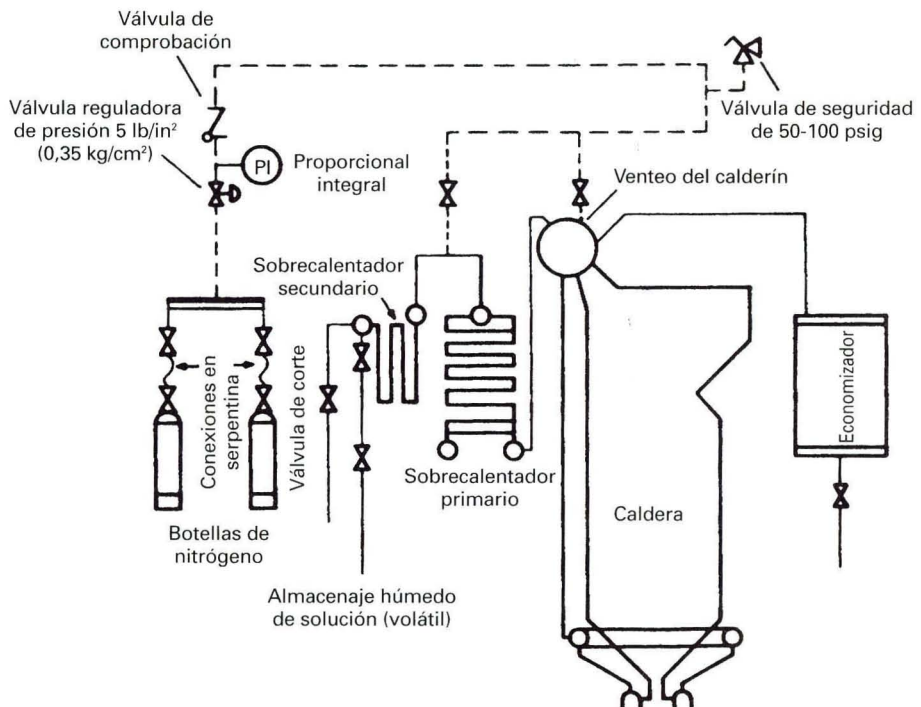


Figura 14.18. La manta de nitrógeno se utiliza para el almacenaje seco de una caldera en estado de reserva a largo plazo para evitar la corrosión. (Cortesía de Laboratorios Betz, Inc.)

la inspección interna por personal de planta y por un inspector autorizado es comprobar la solidez estructural de las partes contenedoras sometidas a presión y anotar cualquier condición que pueda afectar a su resistencia para conservar y soportar presiones. El desgaste, deterioro, corrosión, incrustación, aceite, grietas, agua, adelgazamiento y otras condiciones semejantes de debilitamiento requieren inspección. La mayoría de las calderas desarrollan sus propias zonas particulares de problemas, dependiendo del diseño, condiciones de trabajo y prácticas de mantenimiento. Compruebe todas las superficies metálicas expuestas interiores de la caldera para ver la efectividad del tratamiento de aguas y disolventes de incrustación, también para el aceite u otras sustancias que entren con el agua de alimentación. El aceite o incrustación sobre las superficies de calefacción debilita el metal, causando abolladuras o roturas. Las áreas de corrosión próximas a una junta o unión son más serias que en una chapa fuera de la zona de uniones. El adelgazamiento en una junta es peligroso porque la resistencia de una junta o soldadura es menor que la de una chapa maciza.

Compruebe para obtener evidencias de acanaladuras y grietas a lo largo de una junta o soldadura longitudinal de virola y calderín. Observe cuidadosamente para ver si hay acanaladuras en fajas de recubrimiento en colectores no arriostrados. Inspeccione riostras, virotillos y tirantes por tensiones, y compruebe si los finales abrochados presentan grietas donde los tirantes y virotillos puedan estar perforados con picaduras o taladros en los remaches o tornillos. Los agujeros de hombre y otras aberturas (de mano) están sometidos a corrosión, adelgazamiento y grietas. Compruebe que las aberturas a las conexiones de la columna de agua, tuberías secas y válvulas de seguridad están libres de obstrucciones como lodo e incrustaciones.

Las uniones entre agujeros de tubos y colectores (en todos los tipos de caldera) a menudo se agrietan, después hay fugas y la caldera se debilita. También, tanto en calderas de tubos de agua como de tubo de humos, el mandrilado y rebordeado de los finales de tubo (o sus soldaduras) necesitan comprobación de la erosión, corrosión, grietas y adelgazamiento. Las toberas soldadas y otras aberturas semejantes requieren inspección para comprobación de soldaduras, grietas y evidencias de deterioro de las juntas.

El aceite es normalmente difícil de detectar, especialmente si sólo hay una pequeña cantidad. Deslice la yema del dedo a lo largo de la línea de agua. Si está manchada y la mancha no puede lavarse con agua y jabón, está entrando aceite con el agua de alimentación y está distribuyéndose a través de la caldera por circulación. El aceite, al ser más ligero que el agua, sube gradualmente y forma una nata o espuma a lo largo de la línea de nivel de agua. El peligro real viene de las partículas sólidas diminutas que se pegan al aceite antes de que éste se adhiera a los laterales del calderín. Después, gradualmente, este aceite pesado se asienta en las superficies calefactoras, produciendo vertidos por ampollas en los tubos o provocando su rotura, perforación o fallo total.

Inspeccione cuidadosamente las superficies de chapas y tubos que están expuestas al fuego. Mire en sitios que pueden llegar a desplomarse o escamarse durante el funcionamiento. Los sólidos en el lado de agua de los tubos interiores de generación de vapor causan vejigas o ampollas cuando el lodo se acumula en ellos y el agua no puede arrastrarlo fuera de la caldera. La caldera debe ponerse fuera de servicio hasta que las partes defectuosas hayan sido reparadas adecuadamente. Los tubos con ampollas normalmente deben cortarse y reemplazarse por otros nuevos.

Las calderas antiguas con *juntas solapadas* son muy aptas para la rotura en la zona de la solapa sobre la unión longitudinal. Si existe evidencia de fuga o problemas en esta zona, retire los remaches o roblones y examine la chapa cuidadosamente para comprobar si hay grietas en la unión. Las grietas en las chapas de virola son normalmente peligrosas, excepto las grietas de fuego que van desde el borde de la chapa hacia los orificios de los roblones en los asientos de fijación. Normalmente, un número limitado de estas grietas de fuego no es un problema serio.

Pruebe las *riostras* golpeando el final de cada una con un martillo. Para mejor resultado, coloque otro martillo o herramienta pesada en el final opuesto de la riostra mientras golpea. Un tornillo o riostra roto se denota por un sonido hueco.

Los tubos en las calderas pirotubulares se deterioran más rápidamente en los extremos finales del hogar. Golpeando la superficie exterior con un martillo ligero, se mostrará si hay un debilitamiento serio. Los tubos de las calderas verticales de tubos son normalmente delgados en sus extremos superiores cuando están expuestos a los productos de combustión. La falta de agua de refrigeración es el motivo de ello. Los tubos sometidos a tiro intenso a menudo adelgazan por la erosión causada por el impacto del combustible y partículas de las cenizas. Los sopladores de hollín utilizados incorrectamente también adelgazan y debilitan los tubos. Un tubo con pérdida, esparciendo agua caliente en los tubos próximos con hollín, los corroe seriamente por acidez. Los tubos cortos o accesorios de unión con los calderines o colectores alojarán combustible y cenizas y después producirán corrosión si hay humedad. Primero limpie y después examine cuidadosamente todas estas zonas.

Los *bañles* en las calderas de tubos de agua a menudo se mueven de su sitio. Así, los gases de combustión cortocircuitan el paso a través de los bañles y elevan la temperatura sobre partes de la caldera, causando problemas. La localización térmica a partir de quemadores inadecuados o defectuosos, o la operación que produce un efecto de soplidos, debe corregirse para evitar el sobrecalentamiento.

Las inspecciones necesarias en las *conexiones o accesorios externos* de las calderas incluyen: las válvulas de seguridad, que son el accesorio más importante en una caldera. Allí no debería haber óxido, incrustaciones o materias extrañas que impidan la libre operación de la válvula de seguridad. El mejor modo de probar el asiento, ajuste y libertad de las válvulas de seguridad es por soplado de la válvula con el vapor a presión. Si esto no puede hacerse, pruebe por medio de la palanca de prueba. Inspeccione el tubo de descarga para estar seguro de que es correcto. Algunos operarios han muerto a causa de que una válvula descargando en una sala de calderas llenó todo el espacio con vapor en unos pocos segundos. La abertura de la línea de descarga al exterior no debe estar cerrada.

Los manómetros tienen que ser desmontados para probarlos comparándolos con un manómetro patrón de prueba. Sople la tubería que conduce al manómetro. Asegúrese de que las conexiones de la columna de agua están libres eliminando tes y tapones. Examine las condiciones de la columna de agua y las del nivel de vidrio.

Examine los *soportes* de la estructura de la caldera. Asegúrese de que el hollín y las cenizas no obligan a la estructura de la caldera a producir tensiones excesivas por dilatación en condiciones de funcionamiento. Compruebe también por evidencia si hay corrosión por hollín en los soportes de la estructura. Compruebe las válvulas de purga para ver si trabajan libremente y están bien de empaquetaduras y que la tubería exterior y accesorios no están corroídos o dañados.

Utilización de pruebas no destructivas. Los equipos de pruebas no destructivas están siendo usados cada vez en más inspecciones de calderas para localizar zonas de fallos o roturas potenciales. Se utilizan cinco pruebas principales no destructivas: ultrasonidos, radiografías, partículas magnéticas, tintes penetrantes y corrientes parásitas. El equipo ultrasónico es ahora portátil para uso en campo y se usa mucho para pruebas en chapas y tubos de espesor. Estos instrumentos se muestran útiles como método de rastreo para determinar causas de roturas de naturaleza repetitiva. Por ejemplo, los fallos y roturas en tubos de muros pantalla son un problema muy común. Después de que uno de estos tubos falle, los tubos adyacentes pueden comprobarse con ultrasonidos y los tubos debilitados pueden sustituirse antes de que se rompan.

Una práctica similar se sigue con los tubos sometidos a erosión por cenizas volantes. El espesor de los tubos en una zona sospechosa se controla mediante equipo de ultrasonidos, y los que se encuentran debilitados son sustituidos durante las paradas normales. El espesor de la chapa alrededor de los agujeros de hombre, aberturas de mano, virolas y colectores se comprueba con ultrasonidos para determinar la presión admisible.

La detección de grietas, como en los chequeos de laminación, rajadas, porosidad bajo la superficie de la chapa o soldaduras en zonas inaccesibles visualmente, está tomando un papel más importante. Instrumentos de impulso-eco están ahora disponibles para pruebas de campo y para detección de grietas. Véase la Figura 14.19.

La radiografía, tan importante en construcciones y obras nuevas, se usa mucho en pruebas de campo. Las reparaciones por soldadura en calderas de alta presión son comprobadas por rayos X u otro equipo de radiografía.

La inspección por partículas magnéticas encuentra su utilización clave en la detección de roturas que llegan hasta la superficie. Su uso principal es en tuberías y juntas de equipos de calderas.

Las pruebas por corrientes vagabundas encuentran su aplicación principal en la investigación de defectos de tuberías no magnéticas, como por ejemplo en condensadores y cambiadores de calor conectados a una caldera.

Las pruebas no destructivas de reactores nucleares en servicio y curso complementa a la tradicional inspección visual interna que está muy limitada a causa del riesgo por radiaciones.

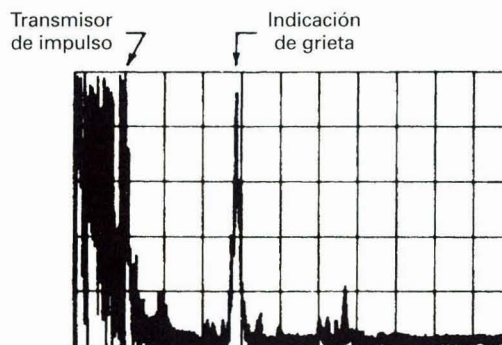


Figura 14.19. El osciloscopio muestra la traza de una grieta durante unas pruebas de detección de grietas por impulso-eco.

Vida restante. Las calderas grandes antiguas se están restaurando a causa de que cuesta menos dinero que comprar una caldera nueva. Los procedimientos para asegurarse de su vida se están utilizando para determinar qué partes de la caldera necesitan sustitución y si la unidad puede salvarse de modo que pueda esperarse un servicio futuro sin problemas. Se hacen exámenes metalúrgicos de piezas de la caldera. Esto comprende medición de tensiones residuales, duplicación o réplica en campo plástico, pruebas de materiales con elementos miniaturizados, pruebas de espesor común, así como otras pruebas NDT. El daño por deformación en componentes a temperatura elevada se hace tomando muestras de colectores y calderines y aplicando una tensión a las muestras a temperatura elevada para determinar si el material no será dañado por deformación con estas temperaturas. No es infrecuente en ciertas unidades sustituir todos los colectores con tubos nuevos instalados in situ.

Hay estudios que han demostrado que las etapas de la deformación bajo tensión, por ejemplo formación de vacíos y microgrietas, pueden detectarse a través del uso de técnicas de réplica y métodos NDT convencionales. La vida remanente puede evaluarse en base a las condiciones del material, efectos del funcionamiento y otros parámetros.

La técnica de réplica puede determinar la deformación sólo en la superficie. El examen bajo superficie requiere el uso de métodos NDT. La réplica de una zona no asegura positivamente que el material adyacente esté libre de daño. Los huecos tienden a localizarse preferentemente cerca de grietas existentes, que normalmente están bajo la superficie. Así pues, los métodos de inspección suplementarios están adquiriendo importancia creciente en la evaluación de la vida de componentes y de tuberías de vapor de una caldera. Los métodos utilizados incluyen: visuales, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ultrasonidos para medidas de espesor y detección de grietas, corrientes parásitas, metalografía y réplica.

Método de réplica. Cuando se utiliza el método de réplica, las superficies se preparan mediante limpieza y decapado al agua fuerte. Una lámina de acetato se ablanda con acetona y la lámina se aplica a la superficie preparada. La imagen se graba sobre la superficie de la lámina, que después es eliminada, sombreada para aumentar el contraste y examinada al microscopio. La réplica puede también ser examinada en un microscopio electrónico escáner si se necesita una resolución mayor.

Las réplicas se examinan para dar sus características metalúrgicas tales como grafitización y huecos de deformación así como grietas en la estructura del grano del metal. Puede tomarse así una decisión sobre si la pieza es aún satisfactoria para el servicio o si necesita sustituirse.

Reparaciones de caldera

La mayoría de las jurisdicciones en Estados Unidos promulgan leyes sobre inspección de calderas y recipientes a presión, como se detalló en el Capítulo 1. Los posibles fallos de presión o roturas que pueden producirse determinarán las reparaciones necesarias para corregir el defecto.

Sello R (reparación) del National Board. En muchas jurisdicciones de EE. UU. se legisla sobre instalaciones de calderas y recipientes a presión de acuerdo con las

normas del código ASME* y también se promulgan requerimientos para la inspección en intervalos periódicos; un programa de registro de organizaciones de reparación cualificados se ha desarrollado y ha evolucionado lo que en algunos aspectos duplica con sellos ASME de nueva construcción para calderas recipientes a presión (y sus fabricantes).

La idea de un registro de organizaciones de reparación es la de promover procedimientos uniformes de reparación. Esto implica el uso de materiales normalizados, estableciendo procedimientos de soldadura, utilizando soldadores calificados para las reparaciones o modificaciones que puedan requerirse y teniendo una agencia de inspección** que verifique que las reparaciones o modificaciones cumplen el Código de calderas y requerimientos NB. El National Board de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión ha desarrollado un programa de emisión del sello R para todo grupo, fabricante u organización de propietarios/usuarios que desee ser certificado como organización registrada de reparaciones. La mayoría de jurisdicciones han aceptado este programa de certificación *nacional* de organizaciones de reparadores porque promueve procedimientos uniformes de reparación y prácticas de seguridad a través de todos los Estados Unidos.

El National Board publica un documento titulado *The National Board Inspection Code*, que se usa como guía por inspectores y demás para ayudar a mantener la integridad de las calderas y recipientes a presión. Contiene reglas y líneas maestras para una inspección después de la instalación, reparación, alteración y retimbrado, ayudando así a asegurar que esta maquinaria continúa utilizándose con seguridad. Cuando una reparación de soldadura o modificación tiene lugar, la organización que lleva a cabo el trabajo tiene que rellenar un formulario de registro de reparaciones por soldadura que detalla el tipo de reparación o alteración llevada a cabo por esta organización. El registro de reparaciones por soldadura es requerido para su firma por la organización que lleva a cabo el trabajo verificando que éste se ha ejecutado de acuerdo con el código del *National Inspection Board**** y los requisitos legales en vigor. Además, este formulario tiene que ser firmado por el inspector autorizado que aceptó la reparación o modificación; el formulario verifica que el trabajo fue realizado de acuerdo con el código del *National Inspection Board*. El formulario de la reparación por soldadura se envía las autoridades encargadas en la jurisdicción de las calderas y recipientes a presión. En el caso de una reparación o modificación en una caldera o recipiente a presión, el inspector autorizado de esa jurisdicción deberá ser contactado para guía y amparo legal en el cumplimiento de la legislación de acuerdo con las reglamentaciones del National Board, además de aquellas otras normas de rango municipal, si existen, o jurisdiccional sobre reparaciones o alteraciones (normalmente similares a normas NB nacionalmente reconocidas).

Los requerimientos y líneas maestras concernientes al sello R del NB incluyen lo siguiente, aunque deberían consultarse las normas NB, así como aquellas que cambian con el tiempo:

* *N. del T.*: En España se rige según las normas UNE y Reglamento de Aparatos a Presión del MINER.


** *N. del T.*: En España, las «ENICRES», Entidades de Colaboración Técnica del Ministerio de Industria o de sus homólogas en las Autonomías o Comunidades Autónomas.

*** *N. del T.*: Comité de Inspección Nacional.

- La autorización para utilizar el sello oficial del NB, como se muestra en la Figura 14.20, será otorgado por el NB de conformidad con sus normas y requerimientos.
- Las organizaciones de reparación, fabricantes, contratistas o propietarios-usuarios que hacen reparaciones en calderas y recipientes a presión clasificadas bajo el código de inspección del NB, pueden recurrir a los inspectores del NB para rellenar y cumplimentar los formularios para el encargo de un sello de reparador y para la correspondiente autorización de utilización. Cada sello del símbolo de reparador debe ser comprobado, llevado en serie y usarse solamente por la organización de reparación para la cual fue concedido.
- El ostentador del símbolo de reparador del NB o de un sello o símbolo del código ASME debe someterse a la agencia de inspección autorizada que acepte el trabajo y al estado o ciudad de los Estados Unidos o provincia de



(a)

	(Nombre de la empresa reparadora)
	psi
	Máxima presión de trabajo admisible
N.º _____ (N.º del sello de reparador del NB)	_____
	Fecha de la reparación

(b)

Alterado por _____	Virola	Tubos
Presión máx., psi _____	_____	_____
@ °C _____	_____	_____
Número de alteración del fabricante _____	_____	_____
Fecha de la modificación _____	_____	_____

(c)

Figura 14.20. Sellos de reparación del National Board. (a) Sello «R» del NB para mostrar que las reparaciones fueron hechas de acuerdo con el reglamento de recipientes a presión. (b) Chapa mostrando el nombre de la organización de reparación y fecha de las reparaciones. (c) Chapa para modificaciones.

Canadá (autoridad jurisdiccional) y someter un formulario R-1 del NB, que es un informe de reparación por soldadura de acuerdo con el *National Board Inspection Code* (véase la Figura 14.21).

- Las *alteraciones* de una caldera o recipiente a presión deben hacerse de acuerdo con los requerimientos del *National Board Inspection Code*.
- Puede utilizarse una placa o el símbolo de reparación, donde se permita, que puede marcarse directamente bajo el sello original del recipiente. Si se usa

FORMULARIO R-1, INFORME DE SOLDADURA REPARACIÓN O ALTERACIÓN
como se requiere según las provisiones del National Board Inspection Code

1. Trabajo realizado por _____
(nombre del reparador u organización de modificaciones) (código postal)
2. Propietario _____
(nombre)
3. Situación de la instalación _____
(dirección)
4. Identificación de la unidad: _____ Nombre del fabricante _____
(caldera, recipiente a presión)
5. Números de identificación _____
(n.º de serie) (n.º del NB) (n.º de modificación) (año de fabricación)
6. Descripción del trabajo _____
(use hojas adicionales o revés, si es necesario)
7. Notas. Se añaden los Informes Parazle de Datos adecuadamente identificados y firmados por Inspectores Autorizados para los siguientes ítems del informe: _____
(¡OJO! Falta traducción)

MUESTRA

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

El abajo firmante certifica que las afirmaciones hechas en esta declaración son correctas y que todos los diseños, materiales, construcción y trabajos de esta _____ están conforme.
(reparación o alteración)

Certificado de autorización n.º: _____ para usar _____ el símbolo expedido el día ____ de 19__
Fecha _____ 19__ Firmado _____
(organización de reparación o alteración) (representante autorizado)

CERTIFICADO DE INSPECCIÓN

El abajo firmante, ostentando un certificado válido de Comisión emitido por el NB de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión y certificado de competencia emitido por el estado o provincia de _____ y empleado por _____ de _____, ha inspeccionado el trabajo descrito en este informe de datos en _____ de 19__ y certifica que se ha realizado según mi mejor conocimiento, y creo que este trabajo ha sido de acuerdo con el National Board Inspection Code.

Al firmar este certificado, ni el abajo firmante ni mi empleador da ninguna garantía, expresa o implícita, concierne al trabajo descrito en este informe. Además, ni el abajo firmante ni el empleador estarán ligados de ninguna manera a perjuicio, daño a la propiedad o pérdida de ningún género relacionado con o conectado a esta inspección, excepto aquella relación que debe ser provista en una póliza de seguro que el abajo firmante de la compañía aseguradora puede emitir con dicho objeto, y sólo de acuerdo con los términos de dicha póliza de seguro.

Fecha _____ de 19__ Firmado _____ Comisionados _____
(el inspector autorizado) (NB, incl. endosos, estado, provincia y número)

Este formulario puede obtenerse del NB de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, 1056 Crupper Ave. Columbus, OH 43229, EE. UU.

Figura 14.21. El formulario del NB de soldadura, reparación o alteración se requiere ahora por la mayoría de las jurisdicciones y por las leyes de inspección de calderas y recipientes a presión.

una placa, debe soldarse o remacharse bien debajo o adyacente a la chapa o marcaje original. Cada organización de reparación, fabricante, contratista, reparador o propietario-usuario que complete las reparaciones de una caldera o recipiente a presión deberá ostentar un certificado válido de autorización por el uso de la chapa o símbolo de reparación del NB cuando sea requerido por las autoridades jurisdiccionales de los estados de Estados Unidos o provincias de Canadá.

- Antes de la edición o renovación de un certificado de autorización del NB de reparación deben cumplirse todos los requerimientos, incluyendo un sistema escrito de control de calidad, control de materiales, diseño de la reparación, fabricación, examen e inspección autorizada. Además, se requiere que el aplicante demuestre con éxito la instalación de su sistema escrito de control de calidad. En zonas donde no existen miembros jurisdiccionales del NB o donde la jurisdicción elige no revisar las instalaciones del fabricante, la revisión debe llevarse a cabo por un representante del NB.
- El sistema de control de calidad debe describir y explicar qué documentos y procedimientos de reparación utilizará la organización para dar validez a una reparación que restaure la caldera o recipiente a presión hasta unas condiciones seguras y mantenga la validez original del recipiente.

Reparaciones de válvulas de seguridad. El NB ahora ha registrado y editado un procedimiento para reparadores cualificados de válvulas de seguridad de presión. Muchos estados están adoptando este procedimiento de registro como un requisito legal. Véase la Figura 14.22. Cuando se repara una válvula de seguridad según las normas NB, debe fijarse una placa metálica de reparación a la válvula reparada, mostrando el nombre de la organización de reparaciones, el símbolo VR, presión de tarado, capacidad de purga y fecha de la reparación. El propósito de este sistema de acreditación es evitar tocar lo que no se debe respecto a presión de ajuste y capacidad y, así, mantener la identidad del diseño original de la válvula de seguridad.


Reparada por:		
	_____	
	(Nombre del fabricante de la válvula)	
	(Presión)	2 (purga) 3 (caudal)
N.º _____	(Fecha de reparación)	
(Número de certificado NB de la válvula reparada.)	(Identificación; por ejemplo, número de serie, número de pedido, etc.)	

Figura 14.22. Sello del NB para una válvula de seguridad reparada oficialmente.

Componentes de las reparaciones de calderas. Los *problemas de tubos* en calderas pueden originarse por muchos factores, especialmente en grandes generadores de vapor que estén equipados con economizadores, sobrecalentadores y recalentadores. El fallo de los tubos generadores es debido principalmente al sobrecalentamiento por la presencia de incrustación o lodos, circulación obstruida o concentración de calor en una zona, de modo que el flujo normal de agua y vapor no pueda renovar la entrada de calor del lado de fuego lo bastante rápido. Los tubos también son atacados químicamente. El problema del ataque químico está en algunos casos relacionado con el sobrecalentamiento ya que para altas temperaturas aumenta mucho la velocidad de ciertas reacciones químicas que implican al acero. La mayoría de los ataques químicos pueden ser evitados, no obstante, mediante un tratamiento adecuado de agua.

El *adelgazamiento externo* puede estar provocado por una colocación incorrecta de los sopladores de hollín y por partículas abrasivas en los gases de combustión, así como por la incidencia de las cenizas volantes. El fallo de un tubo de humos por picado por corrosión exige siempre renovación a no ser que el defecto esté próximo a un extremo del tubo.

Los *tubos del sobrecalentador* raramente fallan por corrosión, a no ser que haya ocurrido en períodos de paro y *standby*. Los fallos de estos tubos son casi siempre atribuidos al sobrecalentamiento, que puede estar producido por el efecto aislante de los depósitos arrastrados provenientes del estancamiento del agua de la caldera.

Los *depósitos* de material que tienen su origen en el agua de caldera persisten a causa del espumado del calderín de vapor, provocando una concentración excesiva de sólidos disueltos, álcalis o a la presencia de aceite u otra sustancia orgánica. El espumado producido por una concentración elevada de sólidos y alcalinidad puede minimizarse aumentando la purga de la caldera o por adición de una materia antiespumante al agua de caldera. La eliminación de contaminantes orgánicos puede requerir equipo especial de pretratamiento o la inserción de un separador de aceite en la línea de alimentación de agua. Debería darse énfasis al hecho de que los aceites hidrocarbonados puros no producen arrastre, pero sus aditivos con frecuencia lo hacen.

El *arrastre* en forma de lodos en el agua es otra causa de depósitos en el sobrecalentador que puede remediarse bajando el nivel de agua o consiguiendo un mejor control del nivel de carga. Sin embargo, las grandes oscilaciones de carga, para cuyo exceso no fue diseñada la caldera, puede también contribuir a esta condición.

La *muerte por inanición* de los tubos del sobrecalentador puede resultar de una práctica de arranque pobre o por operar la caldera a una tasa indeseablemente baja. Si durante el arranque, la temperatura del hogar sube demasiado rápidamente, antes de que la caldera coja su presión óptima, habrá vapor insuficiente para refrigerar los tubos. En calderas con un sobrecalentador del tipo de radiación, este mismo efecto se puede notar a cargas bajas.

La *rotura de tubos producida por agrietamiento por tensiones y deformaciones* puede identificarse por los signos de grietas extremadamente finas o marcas de tensiones. La reparación de tubos implica considerar la extensión de los defectos. El reemplazo de tubos es corriente. Las reparaciones localizadas pueden hacerse por reparación a través de ventanas o cortando una sección del tubo y soldando circunferencialmente un trozo. Puede necesitarse un tratamiento de precalentamiento y poscalentamiento. Un inspector autorizado deberá aprobar la reparación.

La eliminación de un tubo se hace cortándolo por cada extremo. Un extremo se achaflana en sentido opuesto, teniendo cuidado de no marcar el asiento. El final del tubo se reduce de diámetro con una herramienta de plegado (Fig. 14.23c), de forma que pueda ser introducido a través del agujero. Un soplete de corte de acetileno puede utilizarse con ventaja en algunas operaciones. El nuevo tubo se coloca en posición. Si es un tubo de humos, se expansiona y retrae. Si es uno de agua, se expansiona y achaflana (Fig. 14.23a y b).

Si un *orificio o agujero de tubo* se daña por escorificado, puede ser achaflanado ligeramente a una sobremedida ligeramente superior y con una férula de hierro o de cobre blando suplementaria colocada entre el orificio y el tubo se vuelve a readaptar, expandiéndose contra esta férula.

Es necesario a veces soldar los finales de los tubos de agua, como en el caso de los tubos de circulación de agua conectados al colector cuando se tienen que reponer. Los finales de los tubos se achaflan en V y se utiliza un refuerzo postizo de cobre de espesor 1/8" (3 mm) de respaldo en el interior del tubo, de modo que el metal soldado funda en la parte ancha de la V, alcanzando así una penetración plena, sin colgajos, dentro del tubo. Se usa el cobre porque la soldadura no liga ni funde con el cobre, y así puede quitarse después fácilmente. Los anillos de acero (en vez de cobre) en la tubería normalmente no son deseables en las calderas de tubos de agua, porque no puede tolerarse ni una ligera restricción en el flujo de circulación de agua y con ese anillo lo habrá.

Los generadores de vapor de gran capacidad tienen longitudes muy grandes de tubo que deben soldarse o ensamblarse juntas durante el montaje en campo de la

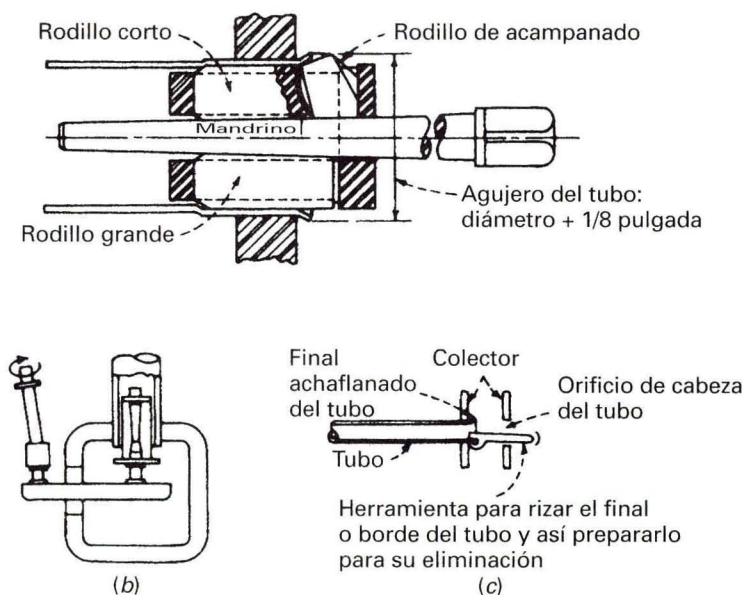


Figura 14.23. Herramientas para trabajar el tubo. (a) Expansor recto. (b) Expansor para trabajar en ángulo recto. (c) Herramienta para romper el chaflán del tubo y eliminarlo.

caldera. Mientras el código ASME no requiere que las soldaduras circunferenciales del tubo sean radiadas (por rayos X), como exige en las virolas o calderines, muchos usuarios especifican el examen con rayos X de todas las soldaduras en las pantallas de tubos de agua del hogar, de algunas soldaduras de los tubos del sobrecalentador y de algunas soldaduras de tubos que van al colector. Ésta es una forma de control de calidad sobre la realización de las soldaduras, pero es también un intento de prevenir una parada costosa debida a un fallo de relativamente pocas soldaduras originado por la falta de presión, penetración, porosidad o grietas en pequeñas zonas afectadas térmicamente (HAZ). En las calderas del tipo de recuperación, está siendo también una práctica común la radiación por rayos X de las soldaduras alrededor de la zona del hogar, para prevenir y evitar que el agua penetre en el hogar.

Un *abombamiento* se produce por el recalentamiento de la chapa de la virola y afecta a todo el espesor de la chapa, mientras que una *ampolla* se produce por una incursión de escoria formada durante la laminación cuando la chapa tomó su forma en el laminado. No todo el espesor de la chapa puede estar afectado. Los abombamientos y ampollas de la chapa en las virolas de caldera suelen requerir a menudo reparaciones. Si el abombamiento o combadura de la chapa se extiende en más del 2 por 100 de su longitud, lo mejor suele ser dejarlo, a no ser que el metal esté quemado de mala manera. Si una ampolla no ha reducido el espesor, de forma que el porcentaje del nuevo espesor respecto al original sea menor que el porcentaje de la soldadura de unión longitudinal, generalmente no es necesaria la reparación.

Si el abombamiento de chapa se extiende a lo largo de más del 2 por 100 de su longitud, pero no es mayor de 1/8 de dicha longitud y la chapa no se ha roto o quemado, es aconsejable dirigirse o dejarse aconsejar por los constructores de calderas experimentados. Una hoguera o fuego de carbón se puede usar para calentar todas las abolladuras simultáneamente. Se suele utilizar un martillo pesado para golpear manualmente alrededor de toda la abolladura y trabajarla por su centro para llevarla gradualmente a su forma plana normal.

Los abombamientos o ampollas de mayor extensión o en donde la chapa esta quemada de mala forma se reparan mediante parcheado. Normalmente, el tamaño de la zona a parchear puede reducirse enderezando la zona circular de la sección afectada, supuesto que la chapa no esté quemada. Una ampolla es realmente la separación de metal de chapa de la virola producida por impurezas laminadas y formadas en la chapa durante el proceso de laminación cuando la chapa fue conformada en origen. Pero sólo la cara exterior de la chapa formará ampollas a causa del calor, ya que el resto del espesor de chapa no se ve afectado. Una ampolla no puede reducirse, pero puede cortarse y aparejarse; si el resto de materiales está en buen estado, la presión en la caldera debe reducirse a la que corresponda al espesor del resto de material que está correcto. Si la presión no puede reducirse, toda la sección ampollada, incluyendo el espesor sano de material, debe ser cortada, eliminada y debe colocarse un parche de chapa correctamente soldado a tope y en el que se deben reducir tensiones térmicas después de la operación de soldadura. Si la longitud de la ampolla es de más de 8" (200 mm), la soldadura debe radiografiarse. Después de que esta radiografía sea satisfactoria, se requiere una prueba de presión hidrostática a 1,5 veces la presión máxima admisible para comprobar la solidez de la reparación. Todas las soldaduras deberán efectuarse por un soldador certificado y la reparación debe ser aprobada por un inspector de soldadura autorizado.

Las *zonas con corrosión* de las chapas de encastre de tubos pueden reconstruirse por soldadura allí donde los tubos actúan como riostras. Pero todos los tubos en esas áreas corroídas deben retirarse antes de efectuar la soldadura. Después de soldar, el orificio del tubo debe conformarse antes de colocar tubos nuevos.

Las *superficies arriostradas* y las placas tubulares deben conformarse también a los siguientes requisitos antes de aplicar soldadura. Las zonas corroídas en las superficies arriostradas pueden reconstruirse por soldadura, supuesto que la chapa restante tiene un espesor medio de no menos del 50 por 100 del espesor original y las zonas afectadas no estén tan corroídas que desnivelen la seguridad de la caldera según el código ASME. Un inspector de autorizado debe aprobar y poner fuera de dudas este tipo de reparación.

Los *orificios de hombre o de mano* son normalmente ovalados, con la tapa conectada y asegurada al interior de la caldera (Fig. 14.24). Una empaquetadura sella este tipo de juntas. Las empaquetaduras suelen ablandarse cuando se calientan, de forma que las tuercas de apriete deben reapretarse contra el perrillo de sujeción a medida que la presión sube en la caldera. A no ser que esté reapretado sea gradual, a medida que aumente la presión, la junta puede perder dejando fugas o soplando al exterior, lo que puede escaldar al personal.

Las *fugas de empaquetaduras* persistentes pueden dar como resultado una disminución del espesor de chapa de caldera como consecuencia de la corrosión, que puede conducir a costosas reparaciones. Corrija siempre las fugas de empaquetaduras lo más pronto posible.

Los anillos de los agujeros de mano requieren reforzar los bordes deteriorados de mala manera por la corrosión exterior. Esta corrosión se produce normalmente por fugas a través de las juntas empaquetaduras. El anillo elíptico debe ser del mismo espesor que la chapa y deberá estar soldado a la chapa de la abertura del metal sólido. La chapa debilitada de esta zona debería cortarse y eliminarse, de forma que se pueda colocar un refuerzo por soldadura eléctrica en la sede del asiento o reborde del agujero. La corrosión en estas zonas de aberturas puede evitarse manteniendo firme y estanca la empaquetadura contra fugas.

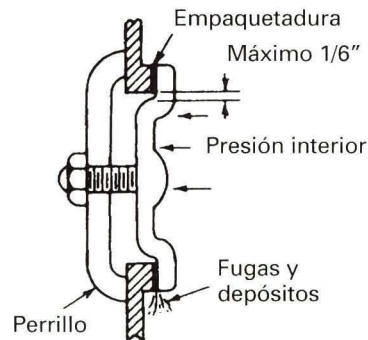


Figura 14.24. Las fugas alrededor de los agujeros de hombre y agujeros de mano pueden producir deterioro del metal, requiriendo reparaciones si no se corrigen.

El tema de los arreglos de *tirantes o tornillos arriostramiento* y chapa de hogar de las calderas de hogar interior está cubierto por las normas de reparación NB. Los tornillos y tirantes de arriostramiento desarrollan a veces fugas que pueden pasar por los orificios de los tornillos de seguridad o por las zonas periféricas de la chapa de caldera. Las reparaciones no están permitidas porque las fugas de los orificios fusibles indican que la riostra o tirante está rota dentro de la caldera. Debe instalarse una nueva riostra o tirante.

Las cabezas de los tirantes o riostras no pueden soldarse alrededor para detener las fugas. Las cabezas deberán recalafatearse. Si la fuga persiste, puede ser un indicativo de que la chapa de la caldera está corroída. Las riostras viejas deben retirarse, la chapa debe examinarse para controlar la corrosión y el debilitamiento o disminución de espesor y, si este control es satisfactorio por lo que respecta a la chapa, deberán instalarse nuevas riostras o tirantes de arriostramiento. Si la chapa estuviera corroída en más del 50 por 100 del espesor original, la sección defectuosa debe cortarse e instalar un parche de chapa bien soldado.

Las *riostras roscadas* pueden ser sustituidas por otras soldadas, supuesto y comprobado que, según el criterio del inspector autorizado de calderas, la chapa adyacente al tirante riostra no está debilitada o adelgazada en su espesor por desgaste. La eliminación de tensiones distintas de las térmicas puede usarse como lo prevé la normativa NB para soldaduras.

También puede producirse un colapso violento del hogar, si un número suficiente de riostras se rompe en una misma zona.

Las *chapas del hogar con ampollas* en las calderas tubulares verticales (VT) normalmente requieren una eliminación y retirada de riostras antes de poder cambiar las chapas del hogar. A veces, el costo de reparación puede sobrepasar el coste de una caldera nueva.

Los *refuerzos, abrazaderas o riostras*, distintas de los tirantes y tornillos, se rompen a veces porque son suficientemente largos para tener gran flexibilidad. Si una abrazaderas o refuerzo se rompe, no debe intentarse su reparación. Debe instalarse uno nuevo.

Los refuerzos en los cabezales o colectores por debajo de los tubos en las calderas piro-tubulares a veces resultan combados cuando el fondo de la virola se recalienta debido a incrustaciones o aceite. La chapa puede dilatarse hasta 1" (25 mm) a causa de temperaturas elevadas; pero los refuerzos están sometidos a temperaturas muy por debajo de la del agua de caldera y su calor de dilatación puede ser sólo la mitad. A medida que la chapa se dilata, arrastra consigo la parte inferior de los colectores y fijaciones de los refuerzos, de modo que se tensionan las abrazaderas o refuerzos mucho más allá de su punto límite de elasticidad. Así, cuando la chapa se enfría y contrae, los refuerzos y abrazaderas se han deformado y combado permanentemente. La dirección de esta combadura es a menudo hacia arriba (pero puede ser en cualquier dirección).

Una combadura ligera no necesita reparación. Si los refuerzos están combados mucho deberán desmontarse y ser enderezados. Si se han alargado tanto que un número completo de roscas no está en contacto con la tuerca de sujeción, deberán instalarse nuevos refuerzos.

Las *pruebas hidrostáticas* se hacen en las calderas que han tenido algunas reparaciones, como el reentubado o parcheado de virola. También se aplican para deter-

minar la situación, extensión o existencia de defectos. La caldera se llena a tope con agua a temperatura ambiente, pero por debajo de 70 °F (21 °C), de forma que, si surge un defecto, la dilatación ligera del agua no puede acabar en una explosión. Se aplica una presión de 1,5 veces la presión máxima admisible bien mediante bomba de alimentación o bien mediante una bomba especial de pruebas.

Las válvulas de seguridad deberán ser desconectadas o eliminadas y sus conexiones embridadas con una tapa o brida ciega. El ajuste de la válvula de seguridad no deberá desregularse por las pruebas hidrostáticas.

Si otra caldera está en línea de vapor, la válvula de drenaje entre las válvulas de corte debería dejarse abierta. Si el agua o vapor fugan a través de las válvulas de cierre con el goteo o pérdida demostrada, la prueba hidrostática debe demorarse hasta que la línea de vapor sea cerrada con una brida ciega, con lo cual no habrá fuga ni pérdida de agua. No debe asumirse ningún riesgo por la presión de agua fría trabajando contra una válvula de corte que tenga vapor a temperatura por el otro lado.

Cualquier zona donde se sospecha que puede haber defectos, como en las juntas soldadas o remachadas, debería exponerse a una prueba, eliminando toda la parte de obra o ladrillería que sea necesaria. La prueba de presión debería mantenerse el tiempo suficiente para poder examinar todas las partes o piezas por donde pueda haber fuga. Una prueba de martillo a menudo se aplica a las secciones sospechosas mientras dura la prueba de presión.

Si se desarrolla cualquier fuga con indicación de peligro, debe consultarse a un inspector autorizado la causa y el método a seguir. Siempre que sea posible, es aconsejable llevar a cabo la prueba hidrostática bajo la supervisión del inspector.

La primera cosa que hay que hacer para llevar a cabo la prueba es eliminar las mordazas o bridas ciegas de las válvulas de seguridad. Esta acción nunca debe demorarse porque, si es así, puede olvidarse y dar como resultado una explosión de caldera por un defecto debido al mal funcionamiento de los aparatos de control o descuido del operador.

El procedimiento normal, después de que se haya realizado una prueba hidrostática y una inspección, es bajar la presión lentamente a través de una pequeña válvula de drenaje con los venteos y drenajes completamente abiertos. Es importante asegurarse de que aquellas zonas o secciones de caldera que normalmente no contienen agua durante el trabajo o funcionamiento normal, tales como sobrecalentadores, recalentadores y tubos de circulación por debajo del nivel normal del agua, están totalmente drenados de agua después de terminada la prueba hidrostática. Si el nivel de vidrio se quita durante la prueba con los grifos desconectados, deben reestablecerse las condiciones operativas de trabajo. Si se han utilizado juntas o empaquetaduras temporales en los agujeros de hombre y de mano durante la prueba hidrostática, éstas deberán reemplazarse con las juntas o empaquetaduras normales antes de preparar la caldera para el trabajo normal.

La *detección acústica de fugas* está siendo utilizada en las grandes calderas para alertar al personal de la existencia de una fuga pocos minutos después de que la fuga comiencen. Esto se hace situando múltiples sensores acústicos en diferentes partes de la caldera. Los sensores acústicos detectan las emisiones de alta frecuencia del vapor que se fuga. La señal acústica se transmite electrónicamente a un dispositivo en la sala de control; la localización exacta de la fuga se obtiene de acuerdo a cómo el sensor responde a la fuga. El sistema está diseñado para filtrar el ruido normal de

operación de la caldera. Mediante la alerta por detección precoz de las fugas, se pueden hacer planes de reparación rápidamente antes de que se produzcan daños mayores en los tubos adyacentes.

El aislamiento con asbesto (amianto) sobre las tuberías de calderas antiguas debe retirarse con cuidado y precaución y seguirse la normativa de requisitos reguladores durante toda reparación o adecuación. Esto se suma al coste de reparaciones y al tiempo necesitado para ellas, así que muchas plantas de calderas están reemplazando ese material por esta razón, así como por mantener un ambiente de trabajo saludable e higiénico.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

1. ¿Como es la incrustación por serpentina?

RESPUESTA: Ésta es una incrustación que tiene un color verde mate y apariencia moteada, con características minerales o mineralógicas designadas como silicato magnésico hidratado, $MgO + 2(SiO_2 \cdot H_2O)$.

2. Cite tres elementos formadores de costra en el agua.

RESPUESTA: Calcio (Ca), magnesio (Mg) y sílice (SiO_2).

3. ¿Cuáles son las dos objeciones mayores a la incrustación en una caldera?

RESPUESTA: (1) La incrustación es un aislante del calor y por ello puede producir recalentamiento de las partes afectadas. (2) La incrustación produce una pérdida considerable de rendimiento.

4. ¿Se utiliza alguna turbina tubular para retirar la incrustación mecánicamente de los tubos de fuego? Si no es así, ¿qué se utiliza?

RESPUESTA: No; se utiliza un vibrador o resonador. Una turbina tubular se utiliza en las calderas de tubos de agua.

5. ¿Qué beneficio produce recubrir de aceite las superficies internas de la caldera? Explique su respuesta.

RESPUESTA: Ningún beneficio. Al contrario, es muy peligroso. El aceite es un aislante del calor y por ello puede producir peligrosos recalentamientos de las superficies afectadas.

6. ¿Cuál es la fuente u origen más corriente del aceite en calderas?

RESPUESTA: El uso de retorno de condensados contaminados de los equipos alternativos de vapor o de los intercambiadores de calor del proceso.

7. ¿Cómo puede entrar combustible en una caldera cuando se usan quemadores de combustible?

RESPUESTA: Por rotura de un tubo o serpentín del elemento o sistema calefactor de combustible a vapor cuando el condensado se retorna al sistema de alimentación de agua.

8. ¿Cuál es el origen de la mayor parte de la corrosión externa?

RESPUESTA: Azufre en el hollín, carbón, cenizas y humedad.

9. ¿Qué objeción hay a enterrar la tubería por debajo del suelo de la sala de calderas?

RESPUESTA: La corrosión exterior puede progresar sin dar señales hasta un punto peligroso.

10. ¿Qué es la erosión y cuál es la causa más común de ella en las calderas?

RESPUESTA: Es el desgaste de las superficies por abrasión. Está producida normalmente por el roce de impacto del hollín y partículas de ceniza.

11. ¿Qué daño puede producir la incidencia de la llama?

RESPUESTA: Sobrecalentamiento localizado y daño a las piezas de la caldera no protegidas por el refractario.

12. ¿Cuál es la indicación externa de bajo nivel de agua y sobrecalentamiento en una caldera, además de la posible distorsión, decoloración y fugas?

RESPUESTA: El hollín se quemaría y se depositaría fuera de las superficies afectadas.

13. ¿Qué es más serio, una grieta en una unión solapada (circuito de agua o vapor) o una grieta o rotura de fuego? ¿Dónde se encontraría cada una de ellas?

RESPUESTA: Una grieta de junta solapada es más seria y peligrosa. Las grietas en juntas solapadas se encuentran en las juntas longitudinales remachadas o soldadas. Las grietas de fuego pueden hallarse en el soporte de juntas remachadas o soldadas expuestas al calor radiante en las juntas de calderas viejas de hogar interior o en las de hogar y caja de fuego.

14. ¿Cómo pueden repararse las grietas en las juntas solapadas?

RESPUESTA: No se pueden reparar por no estar permitida otra reparación que una reposición de chapa totalmente nueva. De otra manera, la caldera está condenada.

15. ¿Cómo se detecta una rotura de una riostra en una caldera vacía y parada?

RESPUESTA: Cuando los extremos de una riostra de tipo macizo son golpeados con un martillo, una riostra rota puede detectarse por un sonido opaco. Las riostras flexibles se pueden probar retirando la tapa y utilizando un destornillador pesado en la unión de la cabeza semiesférica.

16. ¿Qué índice indica una fuga de un tornillo fusible en un tirante-tornillo o riostra?

RESPUESTA: El tornillo está roto o agrietado en la mitad de su vía o canal de comunicación.

17. ¿Que produce la rotura de las riostras y qué situación es más susceptible en las calderas de hogar interior?

RESPUESTA: La dilatación-contracción (acción de respiración) en las calderas flexiona las riostras. La fatiga puede romperlas eventualmente. Las roscas superiores son más susceptibles de rotura porque la dilatación es mayor allí; la parte inferior del hogar está atirantada por conexión remachada o soldada a la chapa exterior.

18. Una batería de varias calderas está tarada a 100 psi (7 kg/cm²) de presión y todas las válvulas de seguridad están a esa presión. Todos los manómetros son precisos. Una caldera señala 100 psi (7 kg/cm²) y su válvula de seguridad está soplando, mientras los manómetros de las demás calderas registran sólo 80 psi (5.6 kg/cm²). ¿Qué es lo que está equivocado?

RESPUESTA: La válvula de corte de la caldera de 100 psi (7 kg/cm²) está cerrada, la tubería de conexión de vapor no está vacía o la tubería seca está cerrada para evitar el paso de vapor. Esta condición también puede originarse si la tubería de vapor que conecta la caldera de 100 psi (7 kg/cm²) fuera pequeña comparada con el tamaño y la capacidad de producción de vapor de la caldera.

19. (a) ¿Dónde se puede originar mejor la corrosión interna en una caldera vertical tubular?
 (b) ¿Dónde se puede producir mejor la corrosión interior en una caldera de locomotora y por qué?
 (c) ¿Dónde se puede producir mejor la corrosión externa en estas calderas y por qué?

RESPUESTA:

- (a) La corrosión interna en calderas tubulares verticales es más fácil que ocurra en la zona de agua en el anillo superior o brida superior porque ésta es una zona de circulación pobre. También sucede a lo largo de la línea de agua de la virola y los tubos mientras la caldera está produciendo vapor. La corrosión también ocurre alrededor de la placa donde se soportan las riostras o tirantes a causa de las acanaladuras.
- (b) Por la misma razón, la corrosión interna ocurre más a menudo en las calderas de locomotora, alrededor del anillo de lodos, en la parte de agua y a lo largo de la línea de nivel de agua. En este tipo de caldera se ha encontrado que se corroe de mala manera alrededor de la parte superior del cilindro-caldera, especialmente hacia la parte frontal superior o final de la caja de humos.
- (c) La corrosión exterior de cualquier caldera es más frecuente que ocurra en puntos donde puede haber fugas o humedad y especialmente dónde se unen el hollín con azufre y cenizas. En las calderas de tubos verticales ocurre alrededor de los agujeros de mano, parte inferior de la chapa exterior (donde el metal está en contacto con las cenizas y en construcción abonada en la parte superior de la chapa del hogar por debajo de la línea de parrilla), en la parte superior de la virola y en los finales de los tubos. En las calderas de tipo locomotora, tiene lugar alrededor de los agujeros de mano, en la parte inferior de las chapas del hogar en la línea de parrilla, en la parte más inferior de las chapas de agua, la chapa garganta y la parte más inferior del colector frontal en la placa de tubos.

20. (a) En una caldera de tubos de agua del tipo de calderín longitudinal, los tubos inferiores en una bancada mostraron signos de sobrecalentamiento; ¿dónde buscaría la causa de este problema?

- (b) Los casquillos que conectan el calderín de lodos en esta caldera están perdiendo continuamente. Han sido renovados y reclamados y todavía siguen perdiendo. ¿Cuál podría ser la causa de esto?

RESPUESTA:

- (a) El tubo inferior del flujo bajante puede estar parcialmente lleno de incrustaciones, obstruyendo así la libre circulación de agua.
- (b) El calderín de lodos que está situado en la parte más inferior o sobre una obra de albañilería podría restringir el movimiento producido por la dilatación y la contracción.
21. (a) ¿Qué accesorios de una caldera deben dar fácilmente el nivel de agua verdadero? ¿Cómo se puede comprobar esto?
- (b) ¿Cuál es el objeto de una columna de agua? ¿Por qué el Código estipula 1" (25,4 mm) de diámetro como el diámetro mínimo del tubo de conexión?

RESPUESTA:

- (a) El nivel de agua de vidrio. Puede comprobarse utilizando los grifos de prueba.
- (b) La columna de agua se usa para dar volumen suficiente para suministrar un nivel firme o estable en el vidrio para tener una lectura real cuando el nivel de vidrio no puede conectarse directamente a la caldera. Si las tuberías fuesen de menos de 1" (25,4 mm) de diámetro podrían cegarse demasiado fácilmente con incrustaciones y sedimentos.
22. En calderas de alta presión, además de la conductividad del agua de alimentación, ¿qué otras medidas deberían hacerse del vapor que va a las turbinas de alta presión?

RESPUESTA: Pueden ocurrir roturas por corrosión de tensiones si el nivel excede de lo recomendado para valores de sodio del fabricante de la turbina. El límite máximo está en alrededor de 25 ppb para las calderas que trabajan por encima de los 600 psi (42 kg/cm²). Los instrumentos de electrodo de ionización se utilizan para medir el contenido de sodio del vapor de la turbina. La posibilidad de sobrepasar los límites admisibles de sodio tiene lugar por fallos de los desmineralizadores, fugas del condensador y fugas de sodio de los lechos de refinado de condensado. Los fabricantes de turbinas especifican incluso menores niveles de sodio (5 ppb) a medida que tratan de hallar el material que cumpla y trabaje satisfactoriamente bajo altas tensiones en un ambiente posiblemente hostil que puede producir grietas o roturas por corrosión de tensiones con el tiempo de exposición suficiente.

23. Brevemente, ¿qué produce el combado o doblado de los refuerzos por debajo de los tubos a través de los colectores en una caldera pirotubular antigua?

RESPUESTA: El sobrecalentamiento de la parte interior de la virola causa una dilatación excesiva y un alargamiento permanente de los refuerzos. Cuando la virola se enfría y contrae, los refuerzos se doblan o comban.

24. ¿Qué produce la cavitación de una bomba de alimentación? ¿Cómo lo reconocería y qué haría para evitarlo?

RESPUESTA: La temperatura excesiva para la altura de presión en la aspiración es la causa. Una bomba alternativa se embalará, tendrá la carrera corta o dará golpe de ariete (martilleará). Una bomba centrífuga se sobrecalentará, vibrará y funcionará ruidosa-

mente. Las medidas temporales incluyen disminuir la velocidad, cerrar la descarga de la bomba y/o reducir la temperatura del agua añadiendo agua fría en la aspiración si es necesario. Prever una corriente de agua fría en la tubería de aspiración puede ayudar en las emergencias. La corrección permanente requiere una mayor presión de aspiración o una temperatura mucho menor.

25. ¿Cuál es una causa común de temperatura de aspiración excesiva?

RESPUESTA: El vapor soplando a través del depósito de agua de alimentación debido a purgadores defectuosos.

26. ¿Qué precaución operativa debería tomarse con las calderas compactas trabajando al aire libre o con los economizadores en tiempo frío?

RESPUESTA: Deberían tomarse precauciones contra el hielo en la purga o bien utilizando una pequeña línea de *bypass* de las válvulas de purga o bien dejando un poco abiertas las válvulas de purga.

27. ¿Cómo se protegen los tubos del sobrecalentador contra el recalentamiento en la puesta en marcha de una caldera?

RESPUESTA: Inundar los tubos con agua es una práctica recomendada para algunos tipos. Más corrientemente, el sobrecalentador se ventea a la atmósfera por una válvula de purga libre hasta que la caldera trabaja en línea y el encendido se mantenga a carga baja hasta que el vapor aparezca por el venteo, indicando que la refrigeración de los tubos mediante el vapor ha comenzado.

28. ¿Qué sucede si la conexión inferior de un nivel de vidrio se obstruye?

RESPUESTA: El agua retorna al nivel de vidrio muy lentamente después de purgar. Si la obstrucción es completa, el vidrio se llenará con agua muy lentamente a causa de la condensación del vapor. Un nivel incorrecto de agua es lo que se verá por el vidrio.

29. Con referencia a la cuestión anterior, ¿cómo se debería comprobar el nivel de agua? Señale el procedimiento.

RESPUESTA: Mediante el uso de los grifos de prueba. Trate de eliminar la obstrucción intentando la purga del nivel de vidrio con la conexión de vapor cerrada. Si con esto no hay éxito, cierre las conexiones y quite el vidrio. Trate de limpiarlo con firmeza con un alambre curvado a través del orificio inferior después de abrir esta válvula parcialmente, teniendo cuidado de mantenerse a un lado para no ser escaldado. Debe mantenerse una comprobación cuidada del nivel de agua mediante los grifos de purga. Si la obstrucción no puede ser eliminada, la caldera debería cerrarse de forma que la conexión pueda ser desmontada para su limpieza.

30. ¿Cómo sabría usted si la conexión superior de un nivel de vidrio está obstruida? ¿Qué haría si esto ocurriera?

RESPUESTA: El agua subiría rápidamente a la parte superior después de purgar el nivel de vidrio, aunque los grifos de prueba señalen un nivel real más bajo. Proceda como para la obstrucción de la conexión inferior.

31. ¿Cuánto espacio debería haber en frente de una caldera pirotubular al planear la instalación?

RESPUESTA: Debería haber espacio suficiente para el cambio de los tubos.

32. Si al observar el hogar, la parte inferior de la virola de una caldera vieja pirotubular (de retorno horizontal o HRT) se encuentra con ampollas, ¿qué se debería hacer?

RESPUESTA: La caldera debería ser cerrada y desconectada inmediatamente y posteriormente inspeccionada por un inspector autorizado de calderas. Las recomendaciones del inspector deberían seguirse antes de volver a poner la caldera al servicio.

33. ¿Por qué fueron las calderas de hogar interior pirotubulares de más de 72" (1.830 mm) de diámetro requeridas a estar soportadas por un tipo de bastidor de suspensión exterior de carga?

RESPUESTA: Porque el peso de las calderas grandes puede exceder de la carga de seguridad de la obra civil o soporte. La rotura o pandeo de las paredes puede ser el resultado del peso de una caldera grande llena de agua.

34. ¿Cómo debería prepararse una caldera para su inspección?

RESPUESTA: Apagar los fuegos, abrir la purga y el drenaje, venteando la caldera a la atmósfera. El hollín y la ceniza deberán soplar y limpiar las superficies de los tubos, chapas de virolas, colectores, asientos y superficies exteriores accesibles.

La válvula de purga debería cerrarse si alguna otra caldera alimenta esta línea. El agujero de hombre, tapas del agujero de mano y hombre y machos de inspección deberían ser eliminados. Todos los depósitos de lodos u otros sedimentos deberían lavarse. La válvula de purga debería abrirse solamente cuando se esté seguro de que no hay presión en la línea y nadie dentro de la caldera. Cualquier incrustación y depósito de aceite debería dejarse para el análisis por especialista de tratamiento de aguas.

Una caldera adecuadamente preparada para inspección debería estar fría, limpia y seca.

Es aconsejable colgar letreros que pongan «Personal en la caldera» en las válvulas de vapor, purga, alimentación y combustible y también en la chapa de cierre del agujero de hombre, siempre que haya alguien en el interior de la caldera. También siga las normas OSHA para entradas en espacios cerrados.

35. ¿Puede un inspector comisionado por el propietario-usuario actuar como inspector autorizado cuando se hagan reparaciones o modificaciones en las calderas y recipientes a presión del usuario-propietario?

RESPUESTA: Las normas NB revisadas del 1996 permiten al inspector autorizado del propietario-usuario actuar cuando se hagan tales reparaciones o alteraciones a las calderas y/o recipientes a presión en la instalación del propietario-usuario. Si el propietario-usuario tiene un sello «R» del NB puede también actuar como inspector de tercera parte para verificar que el poseedor de un sello hace una reparación aprobada por el Código. El propietario-usuario, sin embargo, debe tener un programa de inspección en la localidad en la que está acreditado por el NB. El inspector del propietario-usuario bajo normas NB está limitado a realizar inspecciones autorizadas solamente al equipo de éste. Consulte con NB para más detalles. El inspector del propietario-usuario debe tener una comisión válida del propietario-usuario editada por NB. El programa de inspección del propietario-usuario debe cumplir los requisitos jurisdiccionales para esta localización.

36. ¿Cómo determina una réplica las condiciones de un colector o tubería superficial?

RESPUESTA: El método suministra una imagen metalúrgica de la microestructura superficial. Una película fina se aplica a la superficie de un metal en las zonas bajo elevadas tensiones. La película reproduce las características superficiales que pueden revelar el comienzo de cambios microestructurales o roturas en la superficie metálica. Los técnicos entrenados en este método de NDT pueden determinar la etapa real de cualquier daño por deformación o grietas del metal y después determinar la vida restante.

37. ¿Cuáles son las desventajas de tener un control de flotador en el funcionamiento todo-nada del nivel de agua, y también, si el flotador cae demasiado, la función del corte de combustible por nivel bajo?

RESPUESTA: La desventaja es que dos funciones de control son activadas por un flotador. Si el flotador se ensucia o se vuelve inoperante en lo que parece ser un nivel «seguro» de agua, tanto el control de nivel como su retroalimentación al corte de combustible por nivel bajo no funcionarán y el resultado puede ser un accidente serio por combustión «en seco». Es preferible, según el Código que un dispositivo controle el nivel de agua y el corte de combustible por nivel bajo se separe de este control.

38. En NDT, ¿cuál es la diferencia entre examen superficial y volumétrico?

RESPUESTA: El examen superficial, como el de líquidos penetrantes y partículas magnéticas, se usa para detectar discontinuidades o grietas en la superficie de la chapa o piezas de caldera o tubería bajo prueba de detección de defectos, mientras el examen volumétrico se usa para detectar discontinuidades o grietas incluso roturas, porosidad e inclusiones por debajo de la superficie o en la estructura interna de la pieza sometida a prueba. Los dos métodos de campo más utilizados son la inspección por ultrasonidos y el examen radiográfico.

39. ¿Con qué tres funciones puede contribuir un operador de calderas al mantenimiento de la caldera?

RESPUESTA:

1. *Manteniendo una planta segura y fiable.* Esto incluye pruebas periódicas para estar seguro de que: las alarmas por nivel bajo de agua y corte de combustible funcionan correctamente; los niveles de agua se mantienen para evitar daños por sobrecalentamiento; el tratamiento químico del agua evita que las incrustaciones y óxidos formen depósitos peligrosos en las superficies de transferencia térmica; la seguridad de llama y su sistema son para evitar que el combustible acumulado en el hogar pueda inflamarse o producir una explosión; todos los servicios auxiliares están funcionando correctamente de modo que la operación de la caldera no se ponga en peligro por causa de un tiro defectuoso, de una mala alimentación de agua o de un flujo de combustible incorrecto; las presiones de trabajo se mantengan dentro de los límites de la presión admisible de trabajo; y la válvula de seguridad funcione.
2. *Manteniendo una planta eficiente.* Las pérdidas de calor por una chimenea son un porcentaje significativo de pérdidas de eficiencia. Algunas causas de ello están bajo el control del operador, como el mantenimiento adecuado del tiro y de las relaciones aire/combustible, así como de las temperaturas de chimenea. Las temperaturas que están por encima de la temperatura normal de chimenea pueden deberse a recubrimientos o incrustaciones de las superficies de absorción de calor de la caldera. El exceso de aire desperdicia combustible al calentar aire en exceso, el cual no se

combina con el combustible. Un tiro pobre puede hacer que no todo del combustible se quemé en el hogar.

3. *Inspección y automatismo de los elementos que necesitan corregirse durante el período de mantenimiento próximo.* Esto incluye los equipos auxiliares. Durante las paradas de caldera, las inspecciones internas indicarán si la corrosión o los depósitos se están produciendo y esto puede requerir ajuste del funcionamiento o tratamiento del agua de alimentación.

40. ¿Cuál es el defecto común de los bordes de un agujero de mano? Cite las causas, prevención y reparación.

RESPUESTA: La superficie erosionada y desgastada por el corte del vapor. La razón es que las superficies no están completamente limpias o la junta de empaquetaduras no ha sido adecuadamente montada. Las superficies de apoyo de la tapa deberían ser limpiadas correctamente y las empaquetaduras instaladas adecuadamente. Las reparaciones pueden efectuarse: regenerando o complementando la zona corroída mediante soldadura, supuesto al menos el 50 por 100 del espesor original de chapa permanece intacto, con lo cual se puede regenerar con un anillo de refuerzo. Si la zona se regenera con soldadura, ésta debe mecanizarse posteriormente y afinarse para que la junta o empaquetadura haga buen asiento.

41. ¿Qué produce el golpe de ariete (martilleo) y cómo puede corregirse?

RESPUESTA: El golpe de ariete es el paso de avalanchas de agua a través de una tubería de vapor. El impacto de los chorros en las curvas o codos de las tuberías puede originar roturas en las mismas. Los golpes o impulsos del agua son producidos por bolsas en las líneas de vapor que no son drenadas correctamente y por la apertura de válvulas demasiado rápidamente. Prever drenajes adecuados en los puntos bajos del circuito y línea de vapor evitará la formación de bolsas de agua. Las válvulas en las líneas de vapor frías deberían abrirse suave y lentamente.

42. ¿Cuándo se exigen dobles válvulas de corte en las líneas de vapor que conectan una caldera a la línea de otra caldera, y cuáles son los requerimientos o exigencias para estas válvulas?

RESPUESTA: Las calderas conectadas a colectores comunes deben tener dos válvulas de seccionamiento con una válvula de salida de drenaje entre las dos válvulas. La válvula próxima a la caldera debería ser del tipo de puente y husillo saliente.

El drenaje de purga libre llamará la atención del operador si una válvula está perdiendo antes de que el operador entre al calderín para su trabajo de inspección y mantenimiento. Esto evita que el operador sea escaldado (quemado) por vapor.

43. Cite tres causas de ampollas o bolsas de las chapas y tubos de caldera.

RESPUESTA: Las ampollas o abultamientos son debidos principalmente al sobrecalentamiento de la chapa o tubo en un punto donde el esfuerzo y la resistencia mecánicos se han visto disminuidos y se ha producido un estado plástico inducido por la presión de caldera. Factores contribuyentes son los depósitos de incrustaciones, aceite o ambos en las superficies interiores. El estado de material puede también está inducido por dardos de llama incidentes sobre las superficies limpias de caldera o por una defectuosa circulación del agua que cause un grave vacío de vapor. La ampollada puede también producirse cuando un tubo o chapa ha sido reducido o debilitado por corrosión o erosión debido

al roce de un chorro de soplado de hollín o de cenizas volantes, hasta que la pared es muy delgada para soportar la presión de caldera.

44. ¿Qué zonas de la caldera escocesa marina experimentan el mayor número de roturas?

RESPUESTA:

- 1) Fugas de los tubos o de sus uniones con la placa.
- 2) Fugas de los tubos por debilitamiento del metal, desgaste del tubo o soplado de los tubos.
- 3) Pérdidas por las soldaduras de las chapas de hogar y de la placa de tubos.
- 4) Pérdidas por la soldadura entre la virola y la placa del hogar.
- 5) Orificios del alojamiento del tubo, roturas de las uniones, grietas y fugas.
- 6) Bolsas del hogar, ampollas y grietas.
- 7) Bolsas del hogar, rotura y explosión.

El punto 7 puede ser un fallo serio, produciendo no sólo graves daños a la propiedad sino también daños personales y muertes.

45. Una grieta de 14" (356 mm) de longitud se ha descubierto en un hogar ondulado de 30" (750 mm) de diámetro. Las condiciones del hogar son, sin embargo, satisfactorias. ¿Está permitido reparar las grietas mediante soldadura?

RESPUESTA: Sí, supuesto que la soldadura se hace por un procedimiento cualificado y que la reparación está liberada de tensiones locales y aprobada por un inspector autorizado.

46. ¿Cómo repararía una riostra o tensor rotor?

RESPUESTA: Las reparaciones no están permitidas. Debe instalarse una riostra o tensor nuevo.

47. ¿Qué tipo de agua debería utilizarse al realizar pruebas estáticas en secciones o partes no drenables de generadores de vapor, recalentadores o sobrecalentadores?

RESPUESTA: Para evitar que se desarrollen incrustaciones, picaduras o tensiones de corrosión en las secciones no drenables de una caldera, debería utilizarse agua destilada, desaireada, desmineralizada o agua de condensación refinada.

48. ¿Cómo se clasifican las cenizas de las plantas de carbón?

RESPUESTA: Las cenizas se clasifican como: (1) cenizas de fondo, que se recogen y arrastran del fondo del hogar, y (2) cenizas volantes, que son partículas más ligeras y finas arrastradas por la corriente de gases de la caldera a los filtros, precipitadores electrostáticos y colectores mecánicos que por el tiro se descargan a través de la chimenea.

49. Cuando se monitoriza el aire próximo a una reparación que puede implicar o llevar restos de asbesto, ¿cuál es la exposición permisible límite según las normas OSHA?

RESPUESTA: El límite previsto permisible de exposición, según las últimas normas OSHA para un tiempo medio de 8 horas para el asbesto, es de 0,1 fibras por cm^3 .

50. ¿Cuáles son los dos modos de aproximación al problema de las tuberías de vapor en un edificio que puede tener el aislamiento de tubería de vapor de asbesto?

RESPUESTA: Según las líneas guía de la OSHA, si la concentración del ambiente está por debajo de los límites admisibles: (1) deje el aislamiento de asbesto como está, pero mantenga monitorizada la concentración en los intervalos estipulados o cuando las partículas de polvo se perciban; (2) encapsule la tubería aislada con un material nuevo para evitar que el asbesto contamine el aire; (3) cierre la zona, lo que significa sellar la zona allí donde la concentración de asbesto supera los límites de concentración admisibles. El proceso de encapsulado implica la instalación de una o barrera de vapor, como de polietileno reforzado.

51. ¿Qué partes de una caldera de tubos de agua pueden sufrir daños de un servicio alternativo de ciclos todo-nada?

RESPUESTA: El servicio cíclico se experimenta en calderas utilizadas para servicios de punta y que están sujetas a reducción de carga, períodos de paro seguidos de arranques, a veces diariamente, y aquellas que sufren oscilaciones de carga. El ciclo todo-nada produce tensiones térmicas inducidas por los efectos de la dilatación y contracción, que pueden producir rotura por fatiga térmica en componentes tales como colectores de economizadores, muros de tubos del hogar, soldaduras de los tubos al colector y colectores de recalentador y sobrecalentador. Ciclos todo/nada del orden de 20 por año es uno de los criterios utilizados para denotar una condición cíclica.

52. ¿Qué produce la corrosión por punto de rocío?

RESPUESTA: Los combustibles que contienen azufre, como los fósiles y la mayoría de los combustibles residuales (ligeros y pesados), producen residuos de combustión que contienen dióxido de azufre y vapor de agua. A temperaturas por debajo de la temperatura de rocío ($300\text{ }^{\circ}\text{F} = 148,8\text{ }^{\circ}\text{C}$), estos vapores y gases se condensan y forman ácido sulfuroso y sulfúrico, que atacan a los metales de la caldera en lo que se ha denominado corrosión ácida. Si la temperatura de los gases salientes puede mantenerse por encima de la temperatura del punto de rocío ácido, este ataque sobre los componentes de la caldera puede reducirse al mínimo. Pueden utilizarse también aleaciones especiales para resistir la corrosión ácida del punto de rocío.

53. ¿Cómo debería realizarse la prueba hidrostática en una caldera instalada en batería con las otras calderas en servicio?

RESPUESTA: Una prueba hidrostática se realiza con agua fría o a presión de 1,5 veces la presión máxima admisible de trabajo. La prueba se lleva a cabo en las calderas nuevas y en calderas en campo para comprobar reparaciones mayores o defectos sospechosos. Todas las zonas a examinar deben ser descubiertas. La caldera deberá llenarse a tope con agua a temperatura ambiente pero no a más de $70\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($21\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las válvulas de seguridad deberán ser bloqueadas o la conexión cerrada con brida ciega. Ambas válvulas de corte en la línea de vapor deberán estar cerradas y la válvula de goteo entre ellas abierta. Se deberá utilizar un manómetro de prueba para controlar la presión. Si ocurre algún goteo entre las válvulas de corte o cierre, la prueba deberá suspenderse y la línea de vapor desconectarse. La presión del agua deberá aumentar lentamente hasta no más de 1,5 veces la presión de trabajo y mantenerse en ese valor el tiempo suficiente para hacer un examen completo de la caldera y una prueba de martilleo cuando y donde sea aconsejable. Inmediatamente después de la prueba, los bloqueos de las válvulas de seguridad y la bridas ciegas deberán eliminarse.

54. ¿Si una válvula de seguridad se queda enganchada en posición abierta, que debería hacer?

RESPUESTA: Reducir la tasa de combustión o fuego. Golpear la parte superior del vástago de la válvula de seguridad puntualmente con un martillo ligero. Después de asentar la válvula de seguridad, hay que soplar todas las suciedades de las superficies exteriores de la válvula de seguridad y echar unas gotas de queroseno alrededor del alojamiento del vástago. Opere la válvula mediante su palanca elevadora hasta que trabaje libremente. Si la válvula no asienta, retire la caldera del servicio y haga un desmontaje total de la válvula de seguridad. Debe tenerse cuidado de mantener el nivel de agua adecuado cuando la válvula de seguridad esté soplando vapor.

55. ¿Todas las reparaciones deben ser aprobadas por un inspector autorizado?

RESPUESTA: Sí, si la resistencia de la caldera ha sido rebajada de algún modo requiriendo reparaciones que impliquen interpretación del Código. Las reparaciones que no afectan a la resistencia de la caldera o que sean menores o rutinarias pueden no requerir aprobación. Pero el inspector debería ser consultado sobre el problema si hay alguna duda acerca de la seguridad de la caldera. Las reparaciones de grietas, soldaduras, sustitución de tubos, sustitución de válvula de seguridad y reparaciones o cambios similares necesitan aprobación. La mejor regla a seguir es la de que toda reparación o cambio estructural en una caldera precisa contactar con un inspector autorizado de calderas.

56. ¿Le está permitido a un soldador cualificado hacer reparaciones de soldadura en alguna parte de la caldera?

RESPUESTA: No necesariamente. Que un soldador esté cualificado para hacer algunas soldaduras no quiere decir que esté cualificado para soldar: (1) ese espesor particular y determinado de chapa; (2) ese tipo de material; (3) esa posición de soldadura a utilizar o (4) de acuerdo y según el procedimiento de soldadura requerido.

57. Si la distancia entre las bases de las cajas de empaquetaduras de un nivel de vidrio es de 12" (305 mm), ¿de qué longitud debería usted cortar el vidrio?

RESPUESTA: Alrededor de $11\frac{3}{4}$ " (298 mm) para permitir su dilatación por la temperatura del vapor.

58. ¿Cuáles son algunas de las pruebas destructivas usadas para cualificación de soldadores según el Código y cuáles los procedimientos de soldadura para instalación y trabajos de reparación de calderas?

RESPUESTA: Las pruebas destructivas utilizados son: (1) Prueba de alargamiento por rotura de especímenes para establecer la resistencia de la soldadura. (2) Pruebas de doblado para determinar la adecuación de la unión soldada para el servicio que se pretende realizar y para calificar el procedimiento y a los soldadores. (3) Pruebas de dureza o tenacidad para comprobar el potencial de rotura sobre la zona de un acero afectada por el calor. Las pruebas de tenacidad son también usadas a menudo para suministrar una estimación rápida de sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, 500 veces la dureza da un valor aproximado de la resistencia final del acero en libras por pulgada cuadrada. (4) Las pruebas de goteo son también utilizadas para determinar la temperatura por encima de la cual una grieta puede ser parada o detenida. (5) Las pruebas del péndulo Charpy se utilizan para determinar la tenacidad de un acero para resistir el agrietamiento si hay una ligera muesca. (6) Algunas aplicaciones requieren la determinación de la zona de transición de temperatura donde el material cambia de comportamiento de dúctil a frágil. La carga se aplica como en la prueba de Charpy, pero para romper el material a diferentes temperaturas del acero. Se hace un gráfico de los pies-libras (o kilos-metro) de par o

momento necesario para la fractura *versus* la temperatura a la cual rompen. A temperaturas frías, se necesita menos energía y, en la zona de transición, el material comienza a ser dúctil y rompe a mayores valores del par o momento a medida que la temperatura aumenta hasta una zona final de fractura completa dúctil.

59. ¿Sobre qué bases están permitidas las reparaciones en calderas?

RESPUESTA: Las reparaciones permitidas están basadas en restaurar las partes afectadas y restablecer su resistencia original lo más próxima posible. Esto está regulado por el Código para la construcción de calderas y aparatos a presión y por la normativa NB para las reparaciones previsibles.

60. ¿Es necesario repetir el tratamiento de precalentamiento y tratamiento térmico post-soldadura sobre una caldera en la que se han llevado a cabo reparaciones como resultado de defectos hallados durante una prueba hidrostática?

RESPUESTA: Las reglas de precalentamiento y poscalentamiento térmico de las soldaduras de una unión soldada deben repetirse o reaplicarse a todas las reparaciones soldadas de calderas hechas a partir de una reparación en calderas nuevas.

61. ¿Qué ayuda o asistencia debería dar el propietario o el ingeniero de operaciones al inspector jurisdiccional de caldera durante las inspecciones?

RESPUESTA: Es responsabilidad del propietario preparar la caldera para la inspección general interna requerida. Todas las aperturas o cierres deben retirarse, toda incrustación y lodo debe ser retirado de las superficies metálicas y todas ellas deben ser expuestas para la inspección. Las zonas de fuego deben limpiarse de hollín, de modo que los tubos puedan inspeccionarse para detectar corrosión, adelgazamiento, debilitamiento, erosión y evidencias de sobrecalentamiento.

El inspector debe recibir toda la ayuda que necesite. Puntualizar todos los defectos conocidos. Estacionar a alguien próximo y fuera de la calderas durante la inspección interna. Si la caldera está en batería con otras, asegúrese de que todas las válvulas de vapor, agua y purga están cerradas y no pueden abrirse. Hacer las provisiones para una prueba hidrostática, si el inspector juzga que es aconsejable. En general, ayudar por cualquier medio para que el examen que se realice sea total, detallado y completo. Completar todas las recomendaciones de seguridad que puedan obtenerse de modo que el certificado de trabajo emitido por la jurisdicción pueda ser rápidamente procesado como resultado de la inspección oficial.

62. ¿Qué precaución debe tenerse en cuenta antes de cerrar una caldera nueva o una caldera que ha sido abierta para limpieza o reparación?

RESPUESTA: Asegúrese de que todas las herramientas, electrodos de soldar, trapos y otros elementos semejantes han sido retirados de calderines, colectores, hogares y tubos. A veces, debe usarse un espejo y una luz para comprobar colectores que de otro modo no serían accesibles para inspección de material extraño. Los tubos curvados que no pueden ser observados desde el final (como los tubos del sobrecalentador) deberían ser cuidadosamente limpiados tubo por tubo. En las calderas nuevas o donde el trabajo se hizo en una zona de tubo, pase bolas de goma o incluso bolas de acero para asegurarse de que los tubos están libres de toda obstrucción. Se pueden utilizar agua o aire comprimido para empujar las bolas de goma a través del tubo.

63. ¿Qué precaución debe observarse al repasar los tubos con una herramienta de turbina?

RESPUESTA: Pasar una turbina por los tubos puede producir desgaste local del tubo por muescas, si la herramienta de turbina se fuerza a través del tubo o se mantiene en la misma posición demasiado tiempo.

64. ¿Es seguro utilizar lámparas portátiles y extensiones de cables dentro de los calderines de caldera, virolas o colectores?

RESPUESTA: Sólo si se usan lámparas de baja tensión, de 32 V o menos, alimentadas por transformadores o baterías para evitar descargas eléctricas en el caso de que una lámpara o bombilla se rompa y cree un flujo de corriente a través de la virola de la caldera. Nunca utilice extensiones o prolongadores de cable sin conexiones adecuadas a prueba de agua. Haga todas las conexiones fuera de la caldera y todas las lámparas o bombillas deben tener guardas envolventes a prueba de explosión. Los accesorios, boquillas y guardalámparas deben estar conectadas a tierra.

65. Una caldera ha de conectarse a un colector de vapor suministrado por otras dos calderas. ¿Cuáles son los requerimientos de la válvula de corte de caldera según el Código?

RESPUESTA: La caldera debe tener dos válvulas de corte cuando está conectada a un colector de vapor común, con un drenaje libre entre las válvulas de corte, de modo que se pueda comprobar la estanqueidad de las mismas. La válvula más cercana a la caldera debe ser una válvula antirretorno automática y la segunda válvula, más próxima al colector, debe ser de tornillo exterior y yugo.

66. ¿Por qué una válvula de seguridad no debería estar colocada en la línea del vapor que conecta una caldera con la línea de vapor de la planta?

RESPUESTA: Las válvulas de seguridad deberían estar instaladas sobre la propia caldera, porque si se instalan sobre la línea de vapor, debido al flujo de vapor en la tubería habría una diferencia de presión en ésta desde el colector a la caldera; así, la presión directamente bajo el asiento de la válvula no será la misma de la caldera. El flujo de vapor en la tubería podría también ocasionar que la válvula de seguridad repique y dañe eventualmente el disco y el asiento. Si la caldera tiene materia seca y llega a obstruirse, la válvula de seguridad no sentirá la presión de la caldera sino solamente la presión de la tubería.

