

Capítulo 1

SISTEMAS DE CALDERAS. CLASIFICACIONES Y PRÁCTICAS DE OPERACIÓN FUNDAMENTALES

OPERACIÓN ACTUAL Y RESPONSABILIDADES

La operación de una planta de calderas, su mantenimiento e inspección requieren el servicio de personal técnico preparado a causa del desarrollo y mejora tecnológica en los materiales. Esto es debido también al avance en todo lo relativo a principios metalúrgicos sobre rotura de materiales, soldadura de componentes de una caldera y en reparaciones, así como al desarrollo de sensores que permitan un control más automático, y finalmente debido también a la aplicación de la informática y de los ordenadores en las operaciones y condiciones de marcha de todas las calderas.

Las calderas se utilizan a muy diferentes presiones y temperaturas, con grandes variaciones de carga y distintos sistemas de combustión. Los diseñadores y fabricantes aplican los principios de transferencia térmica al diseño de sistemas de calderas, pero deben también tener amplia formación técnica en mecánica de fluidos, metalurgia, resistencia de materiales, quemadores, controles y dispositivos de seguridad para el sistema de calderas, y todo ello según las estipulaciones y requerimientos normativos y de Códigos oficiales aprobados.

La preparación y conocimiento requerido por los operarios de calderas puede variar a causa de la amplitud y rango de las instalaciones, desde los sistemas más simples de calefacción, a los procesos y sistemas integrados de las instalaciones de calderas. Los controles de trabajo podrán variar desde el manual al semiautomático o al totalmente automático. La tendencia es a la marcha automática. Sin embargo, los operarios expertos siempre estudian la disposición de la planta de calderas de modo que los componentes, servicios auxiliares, controles, tuberías y posibles procedimientos de emergencia puedan comprenderse y seguirse completamente. El estudio deberá incluir una revisión de los bucles o circuitos de combustibles líquidos, gaseosos o sólidos, aire, agua y vapor y las limitaciones asignadas que cada uno pueda tener en su operación.

Los operarios y técnicos deben familiarizarse con los controles modernos de caldera que están basados en un sistema integrado que implica controlar:

1. Flujo de carga para el calor, usos en proceso o generación de energía eléctrica.
2. Flujo o caudal de combustible y su eficiencia de combustión.
3. Flujo o caudal de aire para mantener una combustión eficiente y adecuada.
4. Flujos o caudales de agua y vapor para mantener la carga.
5. Flujo del escape de los productos de la combustión.

Las plantas automatizadas al máximo requieren el conocimiento de cómo trabaja el sistema para producir los resultados deseados y cómo hacerlo para cumplir los objetivos según el diseño. Puede necesitarse el manual de operación en condiciones de emergencia, que es cuando el conocimiento de los diferentes «bucles» de un sistema de calderas puede ayudar al operario a restablecer las condiciones de normalidad con mucha mayor rapidez. Con la llegada de los ordenadores, si un sistema de calderas está fuera de límites, el personal capacitado puede restablecerlo a través del sistema y ver si el problema está en los instrumentos o en los actuadores fuera de punto, o si un componente del sistema ha tenido una rotura o un fallo eléctrico o mecánico.

Responsabilidades fundamentales de la operación. Los operarios deben estar familiarizados con ciertos principios fundamentales que fueron propuestos en el pasado, especialmente en los sistemas operados manualmente. Entre éstos estaban las siguientes reglas:

1. Mantenimiento y comprobación del nivel de agua, al menos una vez por turno.
2. Bajo nivel y acciones requeridas por el operario para minimizar los daños que la falta de agua puede causar.
3. Corte por bajo nivel de agua, probándolo para estar seguro de si funciona, normalmente una vez por turno. Esto incluye purga de la cámara del flotador o alojamiento del sensor, de modo que no pueda estar obstruido por depósitos internos.
4. Los grifos de prueba deben mantenerse limpios y secos. Deberían probarse una vez por turno para asegurarse de que todas las conexiones al nivel de vidrio y columnas de agua están expeditas y limpias, y así por prueba de los grifos puede determinarse el nivel real a través del vidrio.
5. Las válvulas de seguridad deberían probarse al menos una vez al mes, levantando la palanca y desplazando el asiento de la válvula suavemente. Si la válvula no despega, es un indicativo de que el óxido o materias del agua de la caldera están obstruyendo la válvula y se necesitan correcciones o reparación. La caldera debería ponerse en seguridad y no funcionar hasta que no se elimine el defecto de la válvula de seguridad.
6. Los quemadores deberían mantenerse limpios y libres de pérdidas y con la llama ajustada de modo que no toque las paredes laterales, chapas y tubos. La seguridad de llama (por célula) debería ser comprobada cada turno

- para estar seguro de que están en correcto orden de funcionamiento y así prevenir y evitar explosiones en el hogar.
7. Las partes internas de la caldera deben mantenerse libres de deposiciones, lodos o aceite mediante un tratamiento adecuado del agua y procedimientos de purga para evitar recalentamientos, bolsas y depósitos en chapas, tubos y válvulas, y evitar asimismo una rotura o explosión importantes.
 8. El exterior de la caldera debería mantenerse limpio y seco. No se debe permitir la acumulación de productos de soplado o de inquemados, ya que éstos pueden llevar a acumulaciones y a un mal funcionamiento de controles y actuadores, así como a producir corrosión en diferentes partes o zonas de la caldera.
 9. Las fugas o pérdidas son un signo de peligro en el sistema de la caldera y deberían ser reparadas inmediatamente por el posible peligro que implican y también porque aceleran la corrosión y desgaste de los componentes del sistema, que pueden producir cortes y paradas forzosas.
 10. Cuando ponga una caldera fuera de servicio, no acelere el proceso purgando la caldera con presión para evitar el cocimiento de los lodos y depósitos por el calor y sobre las superficies internas. Deje que la caldera se enfríe lentamente; después drene y limpie las partes superior e inferior de las superficies interiores.
 11. Las compuertas deberán mantenerse en buenas condiciones para evitar que el combustible no consumido se acumule en las cámaras de combustión del hogar y produzcan explosiones del lado de fuego*. Todas las conexiones y pertenencias de caldera deberán mantenerse en buen estado de trabajo para conseguir una marcha y funcionamiento eficientes y también prevenir y evitar paradas forzosas.
 12. Las calderas aisladas y fuera de servicio por un largo período, especialmente las calderas de acero, deberán tener sus aberturas de hombre y las de servicio manual sin las tapas, abiertas, seguido todo ello de una limpieza interior de las superficies para remocionar depósitos y otros contaminantes. La caldera deberá mantenerse seca. (Los últimos capítulos describirán los métodos utilizados para mantener una caldera seca.) Las calderas de fundición se limpian normalmente del lado de fuego y se mantienen húmedas (con agua).
 13. La purga debería hacerse después de todo encendido o puesta en marcha para limpiar los pasos del hogar de todo combustible inquemado y así evitar explosiones del lado de hogar.
 14. La preparación de una caldera para inspección por consideraciones legales precisa que todas las superficies o zonas interiores críticas estén disponibles para la inspección (descrita en capítulos posteriores). Esto requiere que las tapas de las aberturas de hombres y de mano están expeditas, con la caldera enfriada lentamente, y todas las superficies interiores y exteriores limpias, incluyendo las zonas de fuego (hogar y conducto de gases) de la caldera y sus componentes. Todas las válvulas deberán estar cerradas para evitar que el vapor o agua entren en la caldera así aislada.

* *N. del T.*: Los circuitos de una caldera se clasifican en dos apartados fundamentales: los del lado de fuego y gases y los del lado de agua.

15. Mantener la prueba del tratamiento de agua de caldera y su aplicación según las directrices establecidas por los especialistas del tratamiento de agua. Esto ayudará a evitar el crecimiento de depósitos y gases disueltos en el agua de caldera eliminando la formación de ácidos que pueden provocar corrosión en el sistema de caldera y ayudar también a mantener el rendimiento de ésta.
16. Mantener la purga adecuada para remoción de lodos que se puedan desarrollar en el agua de caldera. Siga las recomendaciones del especialista en tratamiento de agua sobre la frecuencia y número de purgas.

Estas responsabilidades fundamentales son importantes para mantener una planta de calderas segura y eficiente y se consideran como las mínimas responsabilidades del operario de calderas. Los capítulos posteriores tratarán de otras características de funcionamiento, mantenimiento, inspección y reparación de calderas.

Nuevas instalaciones de calderas, reparaciones y remodelaciones. Los operarios expertos en plantas de alta presión están también implicados en poner en servicio una nueva caldera, asegurando que se siguen los procedimientos adecuados de operación durante las comprobaciones y chequeo preliminares y finales del grupo de combustión, bombas, ventiladores, válvulas, controles, dispositivos de seguridad y todos los componentes que pueda comprender el sistema de calderas. Otras actividades en calderas nuevas corresponden a la limpieza de superficies internas y de calentamiento y purga de las líneas de vapor antes de la aceptación final de las pruebas de puesta en marcha. También se incluye en el procedimiento de aceptación la prueba hidrostática, calibración de instrumentos y controles, prueba de la válvula de seguridad, puesta en marcha, arranque, prueba y seguridad de que todo el equipo auxiliar de caldera funciona según diseño. Las garantías de rendimiento y capacidades deben ser verificadas según los rendimientos estipulados.

Experiencia actualizada. Los operarios y técnicos de las plantas semiautomáticas y automáticas deben continuar estudiando los sistemas bajo su control, porque a causa del progreso en los controles y aplicaciones de ordenador, los sistemas están más automatizados cada día. La optimización del rendimiento del equipo se considera ahora como un objetivo deseable en la operación del sistema. Esto incluye aumentar el rendimiento de la operación, ganancias en el cumplimiento medioambiental y ganancias económicas provenientes de una mejor operación y marcha. La aplicación del ordenador a los sistemas energéticos necesita menos personal para operar un sistema de calderas, pero también requiere más conocimiento por el operario. Por ejemplo, en un sistema de planta de calderas totalmente integrado, el operario está en una sala de control y está conectado a la caldera, y quizás a los equipos de generación, por medio de pantallas de vídeo que muestran los diferentes datos al operador pulsando las teclas correspondientes del ordenador. Éste puede mostrar al operario el estado de cada unidad por lo que respecta a carga, presión y temperatura como se muestra en la Figura 1.1. El ordenador puede programarse para que cada subproceso tenga sus características de arranque y parada secuencial. Puede incorporarse o introducirse lógica inteligente que puede interrumpir una secuencia de

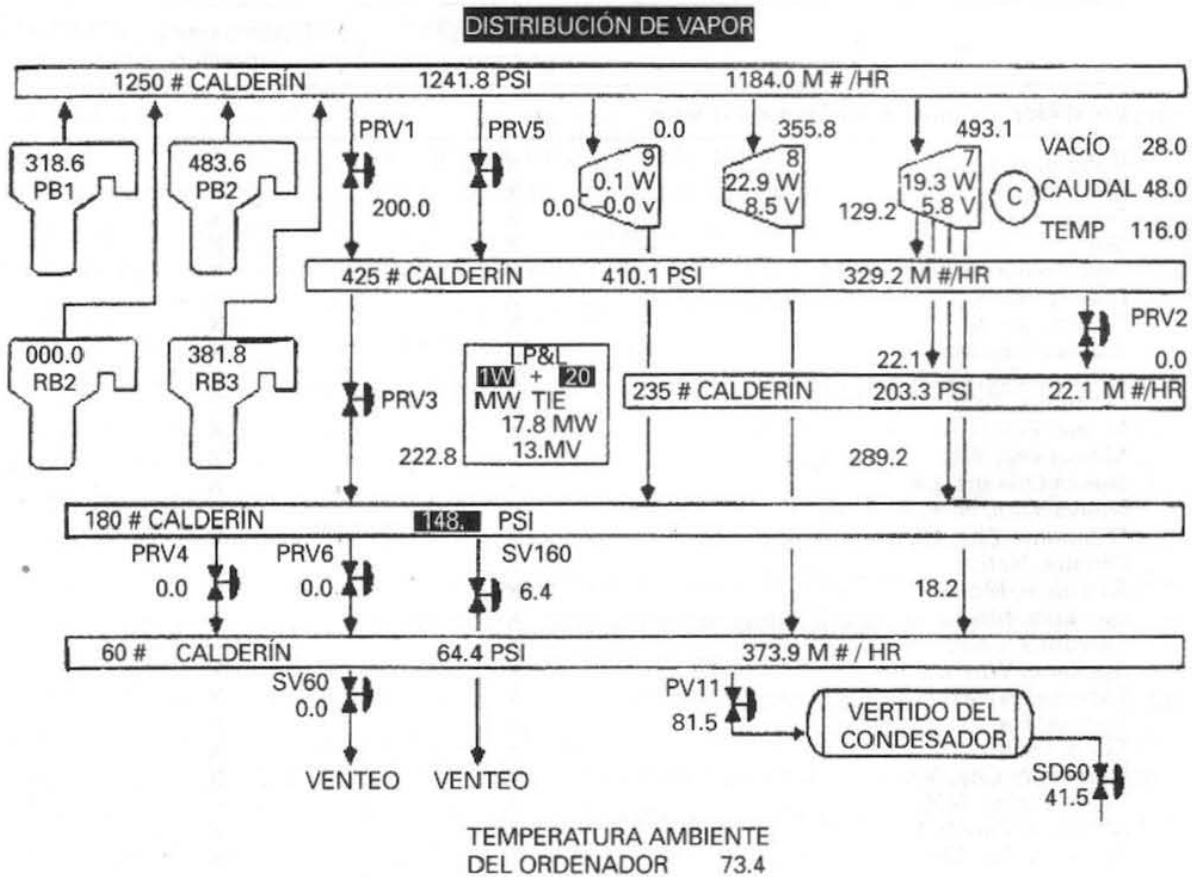


Figura 1.1. Impreso de ordenador (pantalla) de flujo de vapor, presión y carga del turbogenerador incluyendo conexión de energía exterior para planta de energía de una papelera.

arranque si las condiciones no están dentro de los límites de ajuste. Es importante para los operarios y técnicos estar alerta y al corriente de los desarrollos en la rápida expansión de la tecnología de los ordenadores en línea.

Legislación y licencias legales de funcionamiento

A causa del peligro inherente de explosiones e incendio que existe en un sistema de caldera, muchas jurisdicciones exigen que los operarios del sistema de calderas pasen un examen escrito u oral supuesto que el candidato también tiene ya una experiencia apropiada bajo la supervisión de otro operario con carnet*. La Figura 1.2 de la página siguiente da un listado de las jurisdicciones estadounidenses que tienen leyes de licencia para operadores de calderas. Los departamentos jurisdiccionales y direcciones para las autorizaciones y concesión de licencia están listados en la publicación de McGraw-Hill, *Manual de Servicios y Operaciones de Planta* (1995).

* N. del T.: En España se expiden por las correspondientes Delegaciones de Industria, previos cursos y examen los «carnets» o títulos de Instalador-Mantenedor y Reparador de Instalaciones de Agua Caliente y Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

Jurisdicción	Calderas de alta presión	Calderas de baja presión
Condados y ciudades de Estados Unidos		
Buffalo, N.Y.	X	—
Chicago, Ill.	X	—
Dearborn, Mich.	X	X
Denver, Colo.	X	X
Des Moines, Iowa	X	X
Detroit, Mich.	X	X
F. San Luis, Ill.	X	X
Kansas City, Mo.	X	X
Los Angeles, Calif.	X	X
Memphis, Tenn.	X	X
Miami, Fla.	X	X
Milwaukee, Wis.	X	X
Nueva Orleans, La.	X	X
Nueva York, N. Y.	X	—
Oklahoma City, Okla.	X	X
Omaha, Neb.	X	X
San José, Mo.	X	X
San Luis, Mo.	X	X
San José, Calif.	X	—
Spokane, Wash.	X	X
Tacoma, Wash.	X	X
Tampa, Fla.	X	X
Tulsa, Okla.	X	X
University City, Mo.	X	X
White Plains, N.Y.	X	—
Jefferson Parish, La.	X	X
St. Louis Co., Mo.	X	X
Estados		
Alaska	X	X
Arkansas	X	X
Columbia	X	X
Massachusetts	X	—
Minnesota	X	X
Montana	X	X
Nebraska	—	X
New Jersey	X	X
Ohio	X	X
Pennsylvania	X	X
Provincias de Canadá		
Alberta	X	X
Columbia británica	X	X
Manitoba	X	X
New Brunswick	X	X
Newfoundland and Labrador	X	X
N.W. Territory	X	X
Nova Scotia	X	—
Ontario	X	X
Quebec	X	X
Saskatchewan	X	X
Yukon	X	X

Nota: Debido a variaciones en las leyes, es necesario comprobar la jurisdicción para los requisitos específicos sobre operadores con licencias.

Figura 1.2. Jurisdicciones que tienen leyes operativas de licencias de ingeniería para calderas.

Transferencia térmica y funcionamiento

Un estudio de termodinámica, ciclos de vapor y transferencia básica de calor puede ayudar a la operación de la caldera instituyendo un programa de trazado térmico para aumentar la eficiencia y señalar las pérdidas térmicas en el funcionamiento de la planta de calderas. Una caldera es un aparato de transferencia térmica que convierte combustible fósil, energía eléctrica o nuclear, a través de un medio de trabajo como agua, o fluidos orgánicos tales como el Dowtherm, y así dirige esta energía hacia algún aparato externo de transferencia de calor, como los utilizados para calefacción de edificios o de utilización en proceso. Esta energía puede también convertirse para producir energía mecánica (con motores de accionamiento mecánico) mediante turbinas de vapor o con turbo-generadores para producir energía eléctrica.

El flujo térmico en una caldera puede aceptar la eficiencia de la operación y puede producir problemas de recalentamiento, como cuando se deja o permite que se acumulen capas de incrustación en los tubos. El flujo de calor puede tener lugar por conducción, convección o radiación y normalmente tiene lugar de los tres modos en el interior de la caldera.

Conducción es la transferencia de calor de una parte del material a otra o a un material con el que está en contacto. El calor se entiende como una actividad molecular o, hablando más claramente, como la vibración de las moléculas de un material. Cuando se calienta una parte de un material, la vibración molecular aumenta. Esto excita el incremento de la actividad en las moléculas adyacentes, y el flujo térmico se establece desde la parte caliente del material a las partes más frías. En las calderas tiene lugar una considerable conductividad superficial entre un fluido y un sólido, por ejemplo entre el agua y un tubo o entre el gas y un tubo, además de la conductividad a través del metal de un tubo, chapa u hogar.

Mientras la conductancia superficial juega una parte vital en el rendimiento de la caldera, también puede conducir a fallos o roturas metálicas cuando las superficies de calefacción se recalientan, como puede ocurrir cuando las superficies están aisladas por las incrustaciones. La conductancia o conductividad superficial, cuando se expresa en BTU (o kcal) por pie cuadrado (o m²) de superficie calefactora para una diferencia de 1 °F (o 1 °C) de temperatura del fluido y de la superficie adyacente, se conoce como coeficiente superficial o coeficiente pelicular. La Figura 1.3a de la página siguiente muestra unas zonas de remanso cercanas al tubo donde el coeficiente pelicular reduce la transferencia térmica.

El coeficiente de conductividad térmica se define como la cantidad de calor que fluirá a través de esta área unitaria en la unidad de tiempo si el gradiente de temperatura a través de esta área es la unidad. En física, las unidades se expresan como BTU por hora por pie cuadrado y grado Fahrenheit por pie (kcal por hr y metro cuadrado y grado centígrado por metro). Expresada matemáticamente, la tasa de transferencia de calor por conducción a través de un área A y para un gradiente de grados centígrados por metro T/L, es:

$$O = kA \frac{T}{L}$$

donde: k = coeficiente de conductividad térmica.

Nótese que k varía con la temperatura. Por ejemplo, el acero dulce a 32 °F (0 °C) tiene una conductividad térmica de 36 BTU/hora/pie cuadrado/°F/pie, mientras que a 212 °F (100 °C) es de 33.

La *convección* es la transferencia de calor a o desde un fluido (líquido o gas) fluyendo hacia o sobre la superficie de un cuerpo. Con mayor precisión, se define como libre o forzada. La convección libre es la que produce circulación del fluido de transferencia debido a una diferencia de densidad resultante de los cambios de temperatura.

Por ejemplo, en la Figura 1.3b el agua calentada y el vapor ascienden desde la izquierda y son desplazados por el agua más fría (y más pesada) de la derecha. Esto produce convección libre de calor (transferencia de calor) entre el calor de un lado del tubo en U y el agua fría del otro lado. Ahora, la conducción tiene lugar primero entre la película gaseosa y el metal del tubo, después al agua. Pero si el agua no circula, dará por resultado una igualación de las temperaturas. La transferencia de

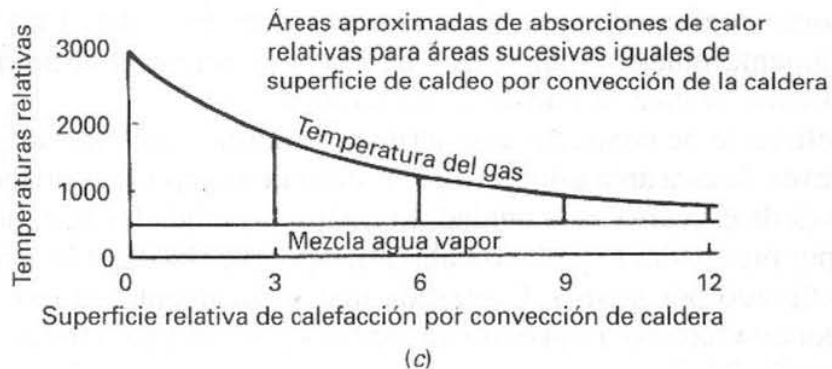
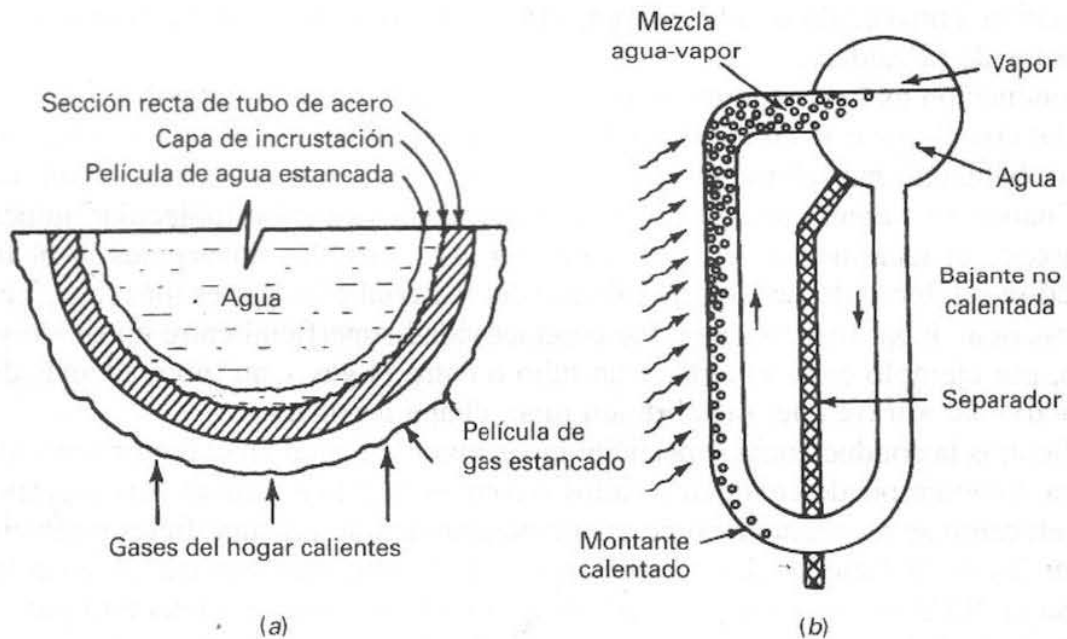


Figura 1.3. Factores que afectan a la transferencia térmica en componentes de calderas. (a) El agua y el gas estancados e incrustados cerca del tubo afectan al calor transferido a través del tubo. (b) La circulación depende del agua caliente que sube, mientras el agua más fría desciende para reemplazarla. (c) La adición de superficie calefactora incrementa la absorción de calor pero a una tasa reducida.

calor entonces cesaría. La convección forzada tiene lugar cuando la circulación del fluido es positiva por algún medio mecánico significativo, como una bomba de agua o un ventilador para los gases. La transferencia de calor por convección está pues ayudada mecánicamente, en el caso de la convección forzada.

Añadiendo superficie de caldera puede aumentar la absorción de calor, pero como se ve en la Figura 1.3c, el gradiente de temperatura caerá más y más. Así pues en algún punto la ganancia en eficiencia será mucho menor que la requerida por la circulación forzada y se incrementará con la adición de superficie calefactora por convección.

El circuito hidráulico de una caldera consta de vías de flujo de agua creado por la diferencia entre las alturas o columnas de agua y de mezcla agua-vapor. El flujo en los tubos y montantes está inducido por la diferencia en la densidad del agua y en las mezclas agua-vapor. El agua más pesada fluirá a la parte inferior mientras que la mezcla agua-vapor asciende en la caldera por las vías agua-vapor. A mayor presión del vapor, mayor densidad adquiere, lo que da como resultado una pérdida de flujo a medida que el vapor se aproxima en densidad a la del agua. Ésta es la razón por la que se usan las bombas para promover la circulación en calderas de muy alta presión. El flujo insuficiente crea ineficiencia en la utilización de las superficies de calefacción, pero puede también dar como resultado el recalentamiento de los tubos debido a la falta de circulación de agua.

Nótese que en la Figura 1.4a de la página siguiente se requiere más superficie de tubo a baja presión que a presión elevada para que exista la misma circulación. Pero la fuerza que produce la circulación es menor a alta que a baja presión. Esto implica el cambio en el peso específico del agua y vapor a medida que aumenta la presión. La mezcla realmente pesa menos en libras por pie cúbico (kg por metro cuadrado) a presiones elevadas. Por ejemplo, en la Figura 1.4b, a la presión crítica de 3206,2 psia (224,4 kg/cm²), el agua y el vapor tienen el mismo peso específico. Las pérdidas por rozamiento debido al flujo son generalmente menores a presión elevada. Esto es debido fundamentalmente al flujo más laminar, o en líneas de corriente, y a la menor turbulencia del flujo en los tubos.

Cuando la ebullición tiene lugar en un tubo, se forman burbujas de vapor y se liberan de la superficie en contacto con el líquido. Esta acción burbujeante crea vacíos (Fig. 1.4c) de tipo renovado a causa de la rapidez de la acción. Esto a su vez crea turbulencia cerca de las superficies de transferencia de calor, lo que generalmente aumenta la tasa de transferencia térmica. Pero la pérdida de humedad a medida que se forman las burbujas puede disminuir la transferencia de calor. La presión tiene un gran efecto sobre la ebullición y la tasa de transferencia térmica. Con altas presiones (Fig. 1.4d) las burbujas tienden a dar vía de salida a lo que se llama coeficiente pelicular con el que la película de vapor cubre la superficie a calentar. Este fenómeno es muy crítico en el funcionamiento de la caldera, produciendo a menudo fallos y roturas en los tubos de agua debido al estancamiento, incluso aunque el nivel de vidrio señale el nivel correcto. Además está implicada la formación de incrustaciones e impurezas a lo largo de la superficie de ebullición de un tubo.

La radiación es una forma continua de intercambio de energía por medio de ondas electromagnéticas sin cambio en la temperatura del medio interpuesto entre los dos cuerpos.

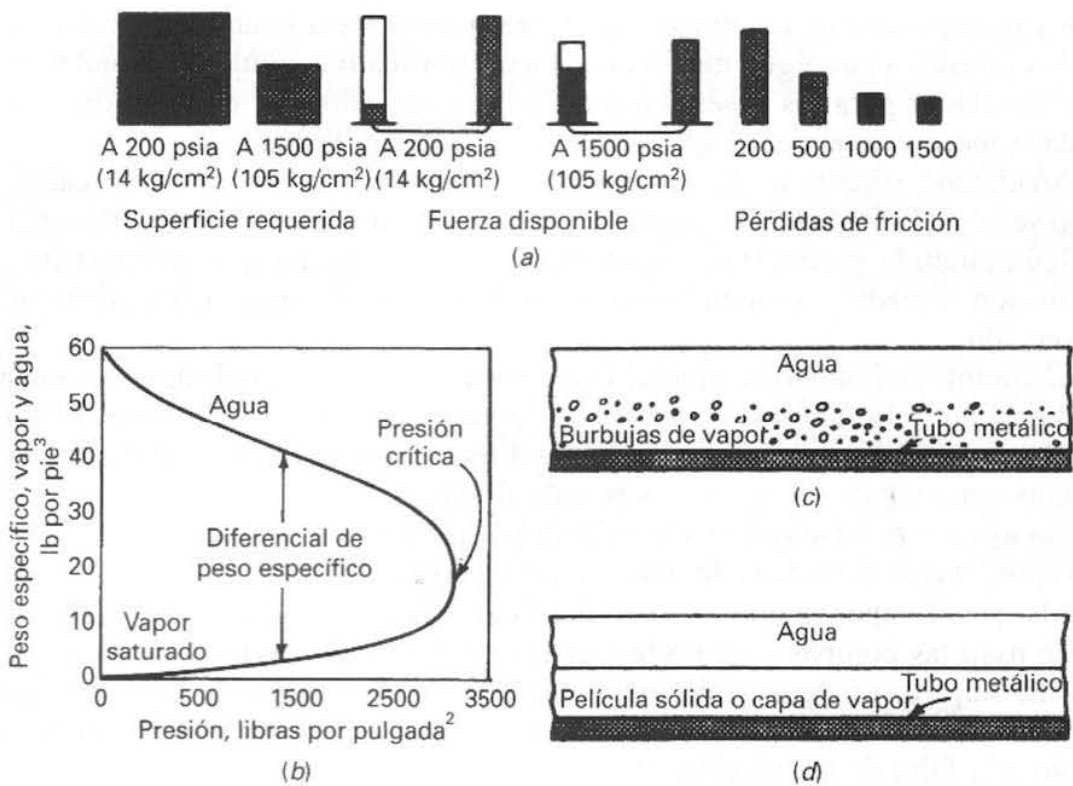


Figura 1.4. Efecto de la presión sobre la tasa de circulación. (a) El área del tubo necesitada es mayor a baja presión; la fuerza para producir la circulación es menor a alta presión; la pérdida de fricción es mayor a baja presión. (b) A la presión crítica, el vapor y el agua tienen el mismo peso específico. (c) A baja presión las burbujas de vapor se forman cerca del tubo metálico. (d) A alta presión, una película sólida o capa de vapor se forma en la superficie metálica del tubo.

La *radiación* está presente en todas las calderas. De hecho, todas las calderas utilizan los tres modos de transferencia térmica: *conducción*, *convección* y *radiación*.

Propiedades del vapor y sistemas de caldera

Una breve revisión de algunas propiedades del vapor ayudarán también a diferenciar los distintos sistemas de calderas. Una tabla de constantes del vapor es necesaria para calcular la eficiencia de la caldera. La norma en Estados Unidos es el libro «Propiedades Termodinámicas del Vapor», de Keenan y Keyes, publicado por la editorial John Wiley & Sons Inc., de Nueva York. Para los datos basados en la temperatura utilice la tabla 1 de la Figura 1.5. Use la tabla 2 si usted conoce la presión. Todas las presiones de estas tablas son absolutas. Para obtener la presión absoluta, añada 1 kg/cm² a la presión manométrica (o bien 14,7 psi a la presión en unidades americanas).

Para las propiedades del vapor recalentado, use la tabla 3 de la Figura 1.5. Esta tabla de vapor sobrecalentado debe utilizarse con la presión absoluta (manométrica más 15 psi) y con la temperatura total del vapor, no los grados de recalentamiento.

Tabla 1. Temperaturas de saturación

Temp. F	Pres. abs. psi (lb/pulg ²)	Vol. específico		Entalpia (calor total)		
		Liq. saturado	Vapor saturado	Calor saturado	Calor de evap.	Vapor saturado
32	0,08859	0,01602	3304,7	0,01	1075,5	1075,5
40	0,12170	0,01602	2444	8,05	1071,3	1079,3
50	0,17811	0,01603	1703,2	18,07	1065,6	1083,7
60	0,2563	0,01604	1206,7	28,06	1059,9	1088,0
70	0,3631	0,01606	867,9	38,04	1054,3	1092,3
80	0,5069	0,01608	633,1	43,02	1048,6	1096,6
90	0,6982	0,01610	468,0	57,99	1042,9	1100,9
100	0,9492	0,01613	350,4	67,97	1037,2	1105,2
110	1,2748	0,01617	265,4	77,94	1031,6	110,5
120	1,6924	0,01620	203,27	87,92	1025,8	1113,7
130	2,225	0,01625	157,34	97,90	1020,0	117,9
140	2,8886	0,01629	123,01	107,9	1014,1	1122,0
150	3,718	0,01634	97,07	117,9	1008,2	1126,1
160	4,741	0,01639	77,29	127,9	1002,3	1130,2
170	5,992	0,01645	62,06	137,9	996,3	1134,2
180	7,510	0,01651	50,23	147,9	990,2	1138,1
190	9,339	0,01657	40,96	157,9	984,1	1142,0
200	11,526	0,01663	33,64	168,0	977,9	1145,9
212	14,696	0,01672	26,80	180,0	970,4	1150,4
220	17,186	0,01677	23,15	188,1	965,2	1158,4
240	24,969	0,01692	16,323	208,3	952,2	1160,5
290	49,203	0,01726	8,645	249,1	924,7	1173,8
300	67,013	0,01745	6,466	269,6	910,1	1179,7
340	118,01	0,01787	3,788	311,1	879,0	1190,1
380	195,77	0,01836	2,335	353,5	844,6	1198,1
400	247,31	0,01864	1,8633	375,0	826,0	1201,0

Tabla 2. Vapor sobrecalentado

Pres. abs. psi (lb/pulg ²)	Temp. F	Vol. específico		Entalpia (calor total)		
		Liq. saturado	Vapor saturado	Calor saturado	Calor de evap.	Vapor saturado
0,50	79,58	0,01608	641,4	47,6	1048,8	1096,4
1,0	101,74	0,01614	333,6	69,7	1036,3	1106,0
5,0	162,24	0,01640	73,52	130,1	1001,0	1131,1
10	193,21	0,01659	38,42	161,2	982,1	1143,3
14,7	212,00	0,01672	26,80	180,0	970,4	1150,4
15	213,03	0,01672	26,29	181,1	969,7	1150,8
20	227,96	0,01683	20,089	196,2	960,1	1156,3
25	240,07	0,01692	16,303	208,5	952,1	1160,6
30	250,33	0,01701	13,746	218,8	945,3	1164,1
40	267,25	0,01715	10,498	236,0	933,7	1169,7
50	281,01	0,01727	8,515	250,1	924,0	1174,1
60	292,71	0,01738	7,175	262,1	915,5	1177,6
70	302,92	0,01748	6,206	272,6	907,9	1180,6
80	312,03	0,01757	5,472	282,0	901,1	1183,1
90	320,27	0,01766	4,896	290,6	894,7	1185,3
100	27,81	0,01774	4,432	298,4	888,8	1187,2
110	334,77	0,01782	4,049	305,7	883,2	1188,9
120	341,25	0,01789	3,728	312,4	877,9	1198,4
130	347,32	0,01796	3,455	318,8	872,9	1191,7
140	353,02	0,01802	3,220	324,8	868,2	1193,0
150	358,42	0,01809	3,015	330,5	863,6	1194,1
200	381,79	0,01839	2,288	355,4	843,0	1198,4
250	400,95	0,01865	1,8438	376,0	825,1	1201,1
300	417,33	0,01890	1,5433	393,8	809,0	1202,8
350	431,72	0,01913	1,3260	409,7	794,2	1203,9
400	444,59	0,0193	1,1613	424,0	780,5	1204,5

Tabla 3. Vapor sobrecalentado

Presión absoluta (lb pulg ²)	*	Líquido saturado	Vapor saturado	Temperatura, °F							
				300	400	500	600	700	800	900	1.000
15	v	0,016	26,29	29,91	33,97	37,99	41,99	45,98	49,97	53,95	57,93
(213,03)	h	181,1	1150,8	1192,8	1239,9	1287,1	1334,8	1383,1	1432,3	1482,3	1533,1
20	v	0,016	20,09	22,36	25,43	28,46	31,47	34,47	37,46	40,45	43,44
(227,96)	h	196,2	1156,3	1191,6	1239,2	1286,6	1334,4	1382,9	1432,1	1482,1	1533,0
40	v	0,017	10,498	11,040	12,628	14,168	15,688	17,198	18,702	20,20	21,70
(267,25)	h	236,0	1169,7	1186,8	1236,5	1284,8	1333,1	1381,9	1431,3	1481,4	1532,4
60	v	0,017	7,175	7,259	8,357	9,403	10,427	11,441	12,449	13,452	14,454
(292,71)	h	262,1	1177,6	1181,6	1233,6	1283,0	1331,8	1380,9	1430,5	1480,8	1531,9
80	v	0,018	5,472	...	6,220	7,020	7,797	8,562	9,322	10,077	10,830
(312,03)	h	282,10	1183,1	1230,7	1281,1	1330,5	1379,9	1429,7	1479,7	1529,7	1579,7
100	v	0,018	4,432	4,937	5,589	6,218	6,835	7,446	8,052	8,656	9,259
(327,81)	h	298,4	1187,2	1227,6	1279,1	1329,1	1378,9	1428,9	1478,9	1528,9	1578,9
150	v	0,018	3,015	3,223	3,681	4,113	4,532	4,994	5,352	5,758	6,158
(358,42)	h	330,5	1194,1	1219,4	1274,1	1325,7	1376,3	1426,9	1477,8	1528,4	1579,4
200	v	0,018	2,288	2,361	2,726	3,060	3,380	3,693	4,002	4,309	4,613
(381,79)	h	355,4	1198,4	1210,3	1268,9	1322,1	1373,6	1424,8	1476,2	1527,0	1578,0
300	v	0,0189	1,5433	...	1,7675	2,005	2,227	2,442	2,652	2,859	3,064
(417,33)	h	393,8	1202,8	1257,6	1314,7	1368,3	1420,6	1472,8	1525,2	1577,6	1630,0
400	v	0,0193	1,1613	1,2851	1,4770	1,6508	1,8161	1,9767	2,1344	2,2894	2,4424
(444,59)	h	424,0	1204,5	1245,1	1306,9	1362,7	1416,4	1469,4	1522,4	1575,4	1628,4
500	v	0,0197	0,9278	0,9927	1,1591	1,3044	1,4405	1,5715	1,7015	1,8294	1,9554
(467,01)	h	449,4	1204,4	1231,3	1296,6	1357,0	1412,1	1466,0	1520,0	1574,0	1628,0
600	v	0,0201	0,7698	0,7947	0,9463	1,0732	1,1899	1,3013	1,4096	1,5146	1,6176
(486,21)	h	471,6	1203,2	1215,7	1289,9	1351,1	1407,7	1462,5	1516,7	1571,5	1626,3
800	v	0,0209	0,5687	0,5679	0,6779	0,7833	0,8763	0,9633	1,0470	1,1284	1,2076
(518,23)	h	509,7	1198,6	1207,7	1270,7	1338,6	1398,6	1455,4	1511,0	1566,6	1622,2
1000	v	0,0216	0,4456	0,5140	0,6084	0,6878	0,7604	0,8294	0,8964	0,9614	1,0244
(544,61)	h	542,4	1191,8	1248,8	1325,3	1389,2	1448,2	1505,1	1560,1	1615,1	1670,1
1200	v	0,0223	0,3619	0,4016	0,4909	0,5617	0,6250	0,6843	0,7407	0,7957	0,8507
(567,22)	h	571,7	1183,4	1223,5	1311,0	1379,3	1440,7	1499,2	1556,7	1614,2	1671,7
1400	v	0,0231	0,3012	0,3174	0,4062	0,4714	0,5281	0,5805	0,6294	0,6754	0,7204
(587,10)	h	598,7	1173,4	1193,0	1295,5	1369,1	1433,1	1493,1	1553,1	1613,1	1673,1

Figura 1.5. Relaciones de presión y temperatura del agua y vapor. Usar la Tabla 1, para los datos basados en la temperatura, la Tabla 2, para los datos basados en la presión, y la Tabla 3, para los datos basados en el vapor sobrecalentado.

Esta temperatura total es la temperatura de saturación (también dada en las tablas) más los grados de sobrecalentamiento*.

Entalpía significa el contenido calorífico del fluido. En relación con el agua y el vapor, hay tener en cuenta tres entalpías:

1. La entalpía del líquido saturado (en BTU/libra o kcal/kg) es el contenido calorífico del agua a una presión y temperatura determinadas.
2. La entalpía de evaporación (BTU/libras o kcal/kg) es el calor requerido para evaporar 1 libra de agua (1 kg) pasando a vapor a esa presión y temperatura.
3. La entalpía del vapor saturado (BTU/libra o kcal/kg) es el contenido calorífico del vapor saturado a la presión y la temperatura que están siendo consideradas.

La entalpía del vapor saturado es, por tanto, la suma de la entalpía del líquido saturado y la de evaporación, o contenido total calorífico del vapor saturado en BTU/libras o kcal/kg.

Las Tablas 1 y 2 de la Figura 1.5 dan las propiedades del agua y del vapor saturado. La única diferencia es que en la Tabla 1 entramos con la temperatura de caldera, mientras que en la Tabla 2 entramos con la presión de caldera. Por ejemplo, la Tabla 1 muestra que para que el agua hierva a 100 °F (37,77 °C) La presión absoluta debe ser de 0,45 psi (0,0665 kg/cm²). La Tabla 2 muestra que a 40 psi (2,8 kg/cm²), el agua hierve a 267 °F (130,55 °C). No es necesario utilizar todos los dígitos dados en la tabla. La mayoría del trabajo práctico no lo necesita. Los ingenieros raramente necesitan cifrar las temperaturas del agua tan aproximadas hasta la fracción más cercana a la fracción de grado, ni los calores o entalpías más aproximadas que a 1 BTU (o kcal).

Líquido saturado significa agua líquida a la temperatura de saturación o ebullición; vapor saturado significa vapor a la temperatura de ebullición. Cuando el agua está hirviendo en un recipiente cerrado, ambos, el agua y el vapor que está sobre ella, están en condiciones de saturación. El vapor está saturado cuando es generado por una caldera sin sobrecalentador. El vapor saturado significa vapor que no contiene agua líquida (o antes del sobrecalentador) (o sea, todavía a la temperatura de ebullición). Nótese que la presión absoluta es presión manométrica más 15 libras/pulgada (1 kg/cm²). Ahora, en la Tabla 2 trate de leer sobre la línea de 50 psia (35 psig más manométrica o 3,5 kg/cm² = 2,5 kg/cm² más manométrica). La temperatura de ebullición es 281 °F (138,3 °C). A esta temperatura, una libra de agua (0,45 kg) ocupa 0,071 pies cúbicos (0,002 metros cúbicos) y 1 libra de vapor saturado (0,45 kg) llena 8,51 pies cúbicos (241 litros). El volumen específico está en pies cúbicos por libra de vapor o agua (metros cúbicos/kg), así pues, se necesitan 250 BTU (63 kcal) para calentar una libra de agua (0,4536 kg) desde 0 °C hasta el punto de ebullición, y otras 924 BTU (233 kcal) para evaporarla, haciendo un total de 1174 BTU (652,22 kcal/kg).

* *N. del T.*: Normalmente, con efectos térmicos es indiferente hablar de sobrecalentamiento o de recalentamiento del vapor. La diferencia está en la situación o localización donde se produce ese efecto térmico, es decir, en el sobrecalentador o en el recalentador (a este último llega el vapor de la expansión de la turbina de alta, antes de entrar en la etapa de media presión).

Como se ha dicho, la entalpía utilizada, llamada calor en las viejas tablas de vapor se da en BTU/libra (kcal/kg). Las tres últimas columnas de las tablas antiguas fueron denominadas de calor del líquido, calor de vaporización y calor total.

Ejemplo. Una caldera genera vapor saturado a 135 psig (150 psia), $69,45 \text{ kg/cm}^2$ ($10,5 \text{ kg/cm}^2$ absolutos). La entalpía o calor del vapor final es de 1194 BTU/libras (300,88 kcalorías/libra; 663,33 kcalorías/kilogramo). La cantidad de calor requerido para producir este vapor en una caldera real dependerá de la temperatura de alimentación. Supongamos que la temperatura del agua de alimentación es de $180 \text{ }^\circ\text{F}$ ($82,22 \text{ }^\circ\text{C}$). La tabla 1 de la Figura 1.5 muestra que el calor en el agua es de 148 BTU (37,3 kcalorías/libra; 82,23 kcalorías/kilogramo).

Así pues, el calor suministrado para transformar este agua en vapor es meramente la diferencia, o sea: $1.194 - 148 = 1046 \text{ BTU}$ (581,11 kcal/kg).

Es fácil a partir de esta cifra calcular el rendimiento de caldera. La caldera genera diez libras de vapor por libra de carbón quemado y el carbón tiene: 13.000 BTU/libra (7.222 kcal/kg). Así pues, por cada 13.000 BTU puestos como combustible (7.222 kcal) hay una entrega en vapor de: $10 \times 1.046 = 10.460 \text{ BTU}$ (2.635,92).

El rendimiento de cualquier unidad de energía es su entrega efectiva dividida por la aportación, de modo que aquí es: $10.460/13.000 = 0,805$; 80,5 por 100 de rendimiento.

Para la mayoría de las cuestiones, en la tabla 1 de la Figura 1.5 no se necesita conseguir un valor exacto del calor del líquido. Solamente reste 32 de la temperatura del agua en $^\circ\text{F}$. Por ejemplo, la entalpía del agua a $180 \text{ }^\circ\text{F}$ ($82,22 \text{ }^\circ\text{C}$) es el calor necesario para elevarla (una libra) desde $32 \text{ }^\circ\text{F}$ ($0 \text{ }^\circ\text{C}$) a $180 \text{ }^\circ\text{F}$ ($82,22 \text{ }^\circ\text{C}$), o sea la diferencia $148 \text{ }^\circ\text{F}$ ($64,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Esto se lleva cerca de 148 BTU/libras (82,22 kcalorías/kilogramo). Pero no se trabajará tan exactamente para temperaturas muy elevadas. Tome agua a $300 \text{ }^\circ\text{F}$ ($148,88 \text{ }^\circ\text{C}$). La tabla 1 (Fig. 1.5) da 269,7 BTU (67,96 kcalorías) mientras nuestro sistema simple da: $300 - 32 = 268 \text{ BTU}$, bastante aproximado para la mayoría de los casos.

Para utilizar las tablas de vapor, para vapor sobrecalentado, la primera columna de la tabla número 3 (Fig. 1.5) da la presión absoluta y (directamente debajo en el paréntesis) la correspondiente temperatura de saturación o de ebullición. En la siguiente columna, v y h indican el volumen específico (de 1 libra) y su contenido de calor o entalpía (también en libras).

Por ejemplo, a 150 psia ($10,5 \text{ kg/cm}^2$ absolutos) el volumen de 1 libra es: $0,018 \text{ ft}^3$ para el agua líquida ($0,0011 \text{ m}^3/\text{kg}$) y $3,015 \text{ ft}^3$ para el vapor saturado ($85,372 \text{ m}^3$). Los correspondientes contenidos de calor de 1 libra (0,4536 kg) son: 83,29 kcal y 300,9 kcal (o sea: 183,62 kcal/kg y 663,4 kcal/kg, respectivamente).

Las columnas de temperatura dan el volumen y el contenido de calor por libra (o por kg) para vapor sobrecalentado a la temperatura indicada. Tome vapor a 150 psi ($10,5 \text{ kg/cm}^2$) sobrecalentado a una temperatura total de $600 \text{ }^\circ\text{F}$ ($315,6 \text{ }^\circ\text{C}$). Mire en la columna de $600 \text{ }^\circ\text{F}$ ($313,6 \text{ }^\circ\text{C}$) opuesta a 150 psi ($10,5 \text{ kg/cm}^2$). El volumen es de $4,113 \text{ ft}^3$ ($116,46 \text{ m}^3$), frente a $3,015 \text{ ft}^3$ ($85,37 \text{ m}^3$) para el vapor saturado a la misma presión. Esto es natural porque el vapor se dilata o expande como gas cuando se sobrecalienta. También, el contenido calorífico es naturalmente mayor:

1325,7 BTU (334,08 kcal) en vez de 1194,1 BTU (300,91 kcal). Todo ello por libra. (En el caso del kg, los valores se duplicarían, aproximadamente: 116,46 m³/lb <> 256,5 m³/kg; 85,37 m³/lb <> 188,45 m³/kg; 334,08 kcal/lb <> 738 kcal/kg.)

Nótese que esta tabla da la temperatura real del vapor sobrecalentado antes que los grados de sobrecalentamiento, que es otra cosa distinta. Si el vapor ha sido sobrecalentado desde la temperatura de saturación de 358 °F (181,1 °C) a 600 °F (315,6 °C), el sobrecalentamiento es de 600 – 358 = 242 °F (116,66 °C).

Estas tablas de sobrecalentamiento se utilizan de modo similar a las de saturación. ¿Cuánto calor supone convertir 1 lb de agua de alimentación a 96,1 °C (205 °F) en vapor sobrecalentado a 150 psia (10,5 kg/cm²) y 600 °F (315,6 °C)? El calor del vapor es de 1.325,7 (1.326) BTU (= 334,15 kcal/lb <> 736,67 kcal/kg). El calor del agua de alimentación es de: 205 – 32 = 173 BTU/lb (96,1 kcal/kg).

Así pues, el calor requerido para convertir 1 lb de vapor es: 1.326 – 173 = 1.153 BTU/lb (640,55 kcal/kg).

Para calcular el rendimiento o eficiencia de la caldera, el método es el mismo que para hallar el rendimiento o eficiencia de prácticamente cualquier otra clase de equipo energético; a saber, rendimiento o eficiencia es la energía útil de salida dividida por la entrada de energía. Por ejemplo, si obtenemos los 3/4 de lo que ponemos, la eficiencia es 3/4 ó 75 por 100 ó 0,75. En el caso de una caldera, alimentamos en BTU (o kcal) en forma de carbón, gasóil o gas natural y obtenemos BTU (o kcal) en forma de vapor. De modo que el primer método establece que la eficiencia o rendimiento de caldera puede ser cifrada directamente a partir del combustible total quemado en un período dado y el agua total evaporada (vapor formado) en el mismo período. Es muy normal cifrar primero la evaporación por libra de combustible quemado (o por kg) y después, a partir de este dato, obtener el rendimiento o eficiencia.

Código de pruebas ASME. Éste es un procedimiento para determinar la producción de las calderas grandes e incluye cálculos de balance térmico. Esto requiere calcular la producción y eficiencia por diferencia o sustracción a partir de la energía del combustible de todas las pérdidas que tienen lugar en una unidad generadora de vapor, tales como:

- Pérdidas debidas a la humedad del combustible.
- Pérdidas debidas al agua que puede formarse del hidrógeno del combustible.
- Pérdidas debidas a la humedad del aire de combustión utilizado.
- Pérdidas debidas al calor, o BTU (kcal) arrastradas por los gases a la chimenea.
- Pérdidas debidas a la combustión incompleta del carbón en el combustible.
- Pérdidas debidas a los combustibles no consumidos en el residuo sólido o cenizas.
- Pérdidas debidas al hidrógeno e hidrocarburos no quemados del combustible.
- Pérdidas debidas a la radiación, fugas y otras pérdidas no tenidas en cuenta.

El Capítulo 15 explica y cita algunos métodos de cálculo de la eficiencia de calderas y los sistemas utilizados para aumentar la eficiencia tal y como se aplican a las plantas de calderas más pequeñas.

DEFINICIONES DE CALDERA

Las siguientes definiciones de caldera generalmente se encuentran en forma de leyes estatales y códigos de caldera referentes a requisitos de instalación o inspección, así como leyes de ingeniería para operar este tipo de equipos.

Una *caldera* es un recipiente a presión cerrado en el que se calienta un fluido para uso externo del mismo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) o por utilización de la energía nuclear o eléctrica.

Una *caldera de alta presión* es aquella que genera vapor a una presión mayor de 15 psig (1,05 kg/cm²) manométricos (1,05 atmósferas efectivas o manométricas). Por debajo de esta presión se clasifican como calderas de vapor de baja presión. Las pequeñas calderas de alta presión se denominan calderas miniatura según la normativa de Estados Unidos*.

De acuerdo a la sección 1 del código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineering) una caldera miniatura de alta presión es una caldera de alta presión que no excede de los límites siguientes: 16" (406,4 mm) de diámetro interior de virola (o chapa envolvente cilíndrica); cinco pies cúbicos (0,1415 m³) de volumen bruto de virola y aislamiento; y 100 psig (7 kg/cm² efectivos o manométricos) de presión. Si se exceden estos límites, se trata de una caldera de potencia. La mayoría de los estados en Estados Unidos siguen esta definición. Los requisitos de la soldadura para estas calderas pequeñas no son tan severos como para las grandes.

Una caldera de potencia es una caldera de vapor de agua o de fluido que trabaja por encima de 15 psig (1,05 kg/cm²) y excede el tamaño de una caldera miniatura. Esto también incluye el calentamiento de agua caliente o calderas de agua caliente que funcionan por encima de 160 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121,1 °C). Las calderas de potencia también se llaman calderas de alta presión.

Una *caldera de baja presión* se define como una caldera de vapor que trabaja por debajo de 15 psig (1,05 kg/cm²) de presión o una de agua caliente que funciona por debajo de 160 psig (11 kg/cm²) o 250 °F (121 °C).

Una *caldera de calefacción* por agua caliente es una caldera que no genera vapor, pero en la cual el agua caliente circula con propósitos de calefacción y después retorna a la caldera y que trabaja a presiones que no exceden de 160 psig (11,2 kg/cm²) o de una temperatura de agua no mayor de 250 °F (121 °C) en o cerca de la salida de caldera. Estos tipos de calderas se consideran calderas de calefacción

* *N. del T.*: En España, según la normativa legal técnica del Ministerio de Industria y Energía, las calderas se clasifican en las categorías siguientes, desde el punto de vista de la seguridad y a efectos de las condiciones exigibles a su emplazamiento en función del producto $V \times P$ (V es el volumen de agua, en m³, a nivel medio o el volumen total de agua en la caldera sin nivel definido, y P es la presión total de servicio, kg/cm²):

Categoría A: $V \times P > 600$

Categoría B: $10 < V \times P \leq 600$

Categoría C: $V \times P \leq 10$

de baja presión*, construidas bajo las especificaciones de la Sección IV del código ASME de calderas. Si se exceden las condiciones de presión o temperatura, las calderas deben diseñarse como de alta presión común bajo las especificaciones de la Sección I del Código.

Una *caldera de suministro de agua caliente* o, más brevemente dicho, una caldera de agua caliente, está completamente llena de agua y suministra agua caliente para usarse en el exterior de ella (sin retorno) a una presión que no excede de 160 psig (11,2 kg/cm²) efectivos o a una temperatura de agua que no pase de 250 °F (121 °C). Estos tipos de caldera se consideran también calderas de baja presión, construidas según los requisitos de la Sección IV (calderas de calefacción) del código ASME. Si se sobrepasan la presión o temperatura, estas calderas deben diseñarse como calderas de alta presión.

Una *caldera de calor perdido* utiliza subproductos térmicos como gases de hornos de laminación o siderurgia, gases de escape de una turbina de gas o subproductos de un proceso de fabricación. El calor residual se pasa por unas superficies de intercambio térmico para producir vapor o agua caliente para uso convencional. Las mismas normas básicas del código ASME de construcción se aplican a todas calderas de recuperación de calores perdidos al igual que se aplican a las calderas calentadas por combustibles convencionales, y los equipos auxiliares y de seguridad normalmente requeridos en una caldera se precisan también para una unidad de calores perdidos.

Los ingenieros prefieren utilizar el término generador de vapor en vez de caldera de vapor, porque el término caldera se refiere al cambio físico del fluido contenido, mientras que generador de vapor cubre la totalidad del aparato en el que el cambio físico está teniendo lugar. Pero en su utilización normal, ambos términos son básicamente lo mismo. La mayoría de las leyes estatales están aún escritas bajo la vieja nomenclatura básica de calderas.

Una *caldera compacta* es una caldera completamente montada en fábrica, de tubos de agua, de tubos de humos o de fundición, e incluye quemador, controles y elementos de seguridad. Una caldera montada en fábrica es más barata que una unidad montada en campo, de la misma capacidad de producción de vapor. Mientras que una caldera montada en fábrica no es una caldera fuera de serie, generalmente puede montarse y entregarse mucho más rápidamente que una caldera montada en campo, los tiempos de instalación y puesta en marcha son sustancialmente más cortos. Los trabajos realizados en fábrica normalmente pueden ser mejor supervisados y realizados a coste más bajo.

Una *caldera supercrítica o hipercrítica* funciona por encima de la presión crítica absoluta de 3206,2 psi (224,43 kg/cm²) y 705,4 °F (374 °C) de temperatura de saturación. El vapor y el agua tienen una presión crítica de 224,43 kg/cm². A esta presión el vapor y el agua tienen la misma densidad, lo que significa que el vapor está comprimido tan intensamente como el agua. Cuando esta mezcla se calienta por encima de la temperatura de saturación correspondiente (de 705,4 °F (374,1 °C)) para esta presión, se produce vapor seco sobrecalentado capaz de realizar trabajo útil por su presión elevada. Este vapor seco está especialmente indicado para mover turbogeneradores.

* *N. del T.*: En España, pertenecientes a la categoría C.

Las calderas de presión supercríticas son de dos tipos: de paso directo y de recirculación. Ambos tipos operan en el rango por encima de los $224,43 \text{ kg/cm}^2$ y $374 \text{ }^\circ\text{C}$. En este rango las propiedades del líquido y del vapor saturado son idénticas; no hay cambio en la fase líquido-vapor por lo que no existe nivel del agua y, por lo tanto, no se precisa calderín.

Las calderas se clasifican también por la naturaleza de los servicios prestados. Las clasificaciones tradicionales son: estacionaria, portátiles, de locomotora y marinas, definidas como sigue. Una *caldera estacionaria* es la instalada permanentemente en una posición fijada en un lugar. Una *caldera portátil* está montada sobre un camión, barco, pequeño bote de río u otro aparato móvil. Una *caldera de locomotora* es una caldera diseñada especialmente para vehículos de tracción autopropulsados sobre raíles (también se usa para servicio estacionario). Una *caldera marina* es normalmente una caldera de tipo especial de cabezal bajo destinada para barcos de carga y pasajeros con una capacidad de vaporización inherente rápida.

El tipo de construcción también diferencia las calderas como sigue: las *calderas de fundición* son unidades de calefacción de baja presión construidas por secciones de fundición a presión de acero, bronce o latón. Los tipos normales fabricados son clasificados por el modo en que se disponen o ensamblan las secciones de fundición por medio de conectores o niples, colectores exteriores y manguitos roscados. Hay tres tipos de calderas de fundición:

1. Calderas verticales de fundición de secciones colocadas o montadas verticalmente una encima de otra, similar a los *pancakes* con accesorios de conexión que unen las secciones.
2. Calderas horizontales de fundición por secciones conectadas o ensambladas horizontalmente de modo que las secciones se mantienen juntas como rebanadas en una hogaza de pan (son las calderas de calefacción más conocidas y utilizadas en España).
3. Pequeñas calderas de fundición también construidas en una pieza o molde simple de pieza única. Éstas son generalmente pequeñas calderas usadas principalmente en el pasado para servicios de agua caliente. Véase el Capítulo 3 sobre calderas de fundición para más detalles constructivos.

Las *calderas de acero* pueden ser de alta presión o de baja presión y, hoy en día, son normalmente de construcción soldada. Están divididas en dos clases:

1. En las calderas de tubos de fuego o tubos de humos, los productos de la combustión pasan a través del interior de los tubos con el agua rodeándolos por el exterior. Las calderas de tubos de humos se describen con detalle en los capítulos posteriores.
2. En las calderas de tubos de agua, el agua pasa o circula por el interior de los tubos y los productos de la combustión rodean a los tubos por su parte exterior.

Las calderas de tubos de humos generalmente son utilizadas para capacidades hasta 22.000 kg por hora y presión de 21 kg/cm^2 . Por encima de esta capacidad y presión, se usan las calderas de tubos de agua. Las calderas de tubos de humos o piro-tubulares se clasifican como calderas de virolas de chapa o cilíndricas. El agua y el vapor están reclusos en la virola o cilindro de chapa. Esta disposición limita el volumen de vapor que puede generarse sin hacer las virolas demasiado grandes y, con

respecto a la presión, el espesor de chapa requerido sería demasiado grande como para fabricarlas en altas presiones.

Terminología de la capacidad o producción de calderas. La capacidad o la potencia de caldera puede expresarse en HP (caballos), kg/hora (o libras/hora), kcalorías/hora (BTU/hora) y, para calderas de centrales, la capacidad de generación tan grande puede darse en megawatios de electricidad. Las calderas de calefacción pueden tasarse en HP, libras/hora (kg/hora) y BTU/hora (kcal/hora), pero sus capacidades son también descritas en términos relacionados con la superficie de transferencia térmica necesaria para un espacio. Por ejemplo, metros cuadrados equivalentes (o pies cuadrados) de superficie radiante de vapor es una medida del área de transferencia térmica necesaria en un edificio que utiliza vapor como fuente de calor.

Un *caballo de caldera* (HP de caldera) se define como la evaporación en términos de vapor saturado seco de 34,5 libras/hora de agua (15,65 kg/hora) a temperatura de 100 °C (212 °F). Así pues, un HP de caldera, por este método, es equivalente a una capacidad de 33,47 BTU/hora (8.435,7 kcal/hora) y se toma normalmente como una superficie de calefacción de caldera de diez pies cuadrados (0,92 metros²). Pero diez pies cuadrados de superficie calefactora en una caldera moderna genera en cualquier caso de 50 a 500 libras/hora de vapor (22,7 kg/hora a 227 kg/hora). Hoy en día la capacidad de producción de las calderas grandes está establecida en tantos kg/hora de vapor o BTU/hora (kcal/hora) o megawatios de potencia producida.

El término superficie de calefacción se usa también para definir o cifrar la capacidad de una caldera. La superficie de calefacción de una caldera es el área, expresada en metros cuadrados (o pies cuadrados) que está expuesta a los productos de la combustión. Se deben considerar las siguientes partes en la superficie de caldera para determinar la cantidad de superficie de calefacción disponible para la producción de vapor o agua caliente: tubos, cajas de humos, superficies de virola (hogar), chapas de encastramiento de tubos, colectores principales de caldera y otras.

Puede hacerse una comparación de capacidades de producción basada en HP, superficie de calefacción y producción en kg/hora, suponiendo que una caldera tiene una capacidad nominal de 500 HP:

1. La superficie de calefacción sería de 5.000 pies cuadrados (464,5 m²) bajo la antigua norma de diez pies cuadrados/HP (0,929 m²/HP).
2. La capacidad de vapor en libras/hora (kg/hora) sería de:

$$500 \times 34,5 = 17.250 \text{ libras/hora (7.825 kg/hora).}$$

3. Para una caldera de calefacción de agua caliente, la capacidad sería de:

$$500 \times 33,475 = 16.737.500 \text{ BTU/hora} = 4.217.850 \text{ kcalorías/hora.}$$

El sistema de producción en libras/hora (o kg/hora), garantizada a menudo por el fabricante, es una medida de la capacidad a la cual una caldera puede funcionar en continuo. La producción punta de una caldera durante un período de dos horas se ajusta normalmente a un 10 a 20 por 100 sobre el máximo continuo de capacidad. La producción en kg/hora (o libras/hora) normalmente se expresa en kg de vapor a la temperatura y presión de diseño de la caldera. Las calderas de baja presión se tasan

también por los requisitos del código de calefacción del contratista, así como en kg/hora o kcalorías/hora.

En cálculos de carga de calefacción se usan los términos: tarado IBR, tarado SBI y tarado EDR. Estos términos afectan a la capacidad de producción de una caldera. Así pues son importantes para determinar el tamaño de una caldera para calentar un espacio determinado. También afectan a la válvula de seguridad requerida en una caldera. Se definen como sigue.

El acrónimo o las siglas IBR*, establecido por el Instituto de fabricantes de calderas y radiadores, es el que tasa y determina los valores de las calderas de fundición. Normalmente las calderas taradas IBR tienen una placa indicadora de la capacidad bruta y neta en BTU/hora (kcalorías/hora). La capacidad bruta está definida como la capacidad neta más un plus de holgura para la puesta en marcha, la carga punta y las pérdidas térmicas de la tubería. La capacidad neta definiría el efecto real térmico producido. El código ASME establece que es la capacidad bruta del equipo la que determina la capacidad a especificar para la válvula de seguridad.

El acrónimo o las siglas SBI** está establecido por el Instituto de calderas de acero. La chapa o placa de datos muestra que el tarado de caldera por el SBI no es uniforme, pero el modelo o número de producto debe ser grabado. El catálogo del fabricante mostrará normalmente un tarado SBI y un tarado neto SBI. El tarado SBI tiende a mostrar la suma del tarado neto SBI más un 20 por 100 extra para pérdidas de tuberías, no incluyendo la carga punta anotada bajo el tarado IBR. Así, es difícil obtener la verdadera capacidad bruta para determinar la capacidad de la válvula de seguridad a partir de estos datos. Pero el SBI exige el número de metros cuadrados (o pies cuadrados) de superficie calefactora que ha de grabarse*** sobre la caldera. Con ello, se utiliza la regla ASME de capacidad mínima de la válvula de seguridad en libras/hora (kg/hora) por metro cuadrado (o pie cuadrado) de superficie de calefacción.

La norma EDR**** se establece para la radiación directa equivalente. Específicamente se refiere a la superficie de radiación de vapor en pies cuadrados (metros cuadrados). Se define como una superficie que emite 240 BTU/hora (60,5 kcal/hr) con una temperatura de vapor de 215 °F (101,7 °C) a una temperatura de habitación de 70 °F (21 °C). Con calefacción por agua caliente se usa el valor de 150 BTU/hora (37,8 kcalorías/hora) con una caída de 20 °F (6,7 °C) entre el agua de salida y la de retorno. Este término se utiliza por los arquitectos e ingenieros de calefacción para determinar el área del equipo de transferencia térmica requerida para calentar un espacio. De este modo, la capacidad de caldera se obtiene indirectamente por suma de las EDRs.

En las especificaciones de calderas de calefacción a menudo se anotan también los siguientes tarados o normas (sobre todo en Estados Unidos; en España, sólo se

* IBR: Institute of Boiler and Radiator Manufacturers.

** SBI: Steel Boiler Institute.

*** EDR: Equivalent Direct Radiation: Radiación Directa Equivalente.

**** N. del T.: En España, los valores de tara de capacidad y presión máxima de trabajo están grabados o punzonados oficialmente por Industria en la chapa o placa punzonada oficialmente por el Ingeniero de Industria, normalmente después de realizada la prueba de presión hidrostática de la caldera en su emplazamiento definitivo y regrabada anualmente o siempre que se realicen modificaciones o reparaciones de importancia en el diseño o dispositivos de la caldera.

señalan la capacidad térmica, presión de trabajo, fabricante y número de serie o modelo y número de fabricación, según está normalizado):

Tarado de la American Gas Association. Este sistema de tarado se utiliza por la Asociación Americana del Gas (AGA) y se aplica a calderas diseñadas para calefacción por gas. El tarado o capacidad se expresa como capacidad máxima de caldera en BTU/hora (kcal/hora) y refleja el 80 por 100 del tarado de entrada aprobado por la AGA según se determina por pruebas de determinación de rendimiento descritas en la norma «American Standard Approval» («requisitos americanos normales de aprobación para aplicaciones de calefacción central»). Para todos los efectos prácticos, los tarados AGA son equivalentes a los tarados brutos SBI e IBR.

Tarado de la Asociación de Contratistas Mecánicos. La Asociación de Contratistas Mecánicos (MCA) de América (antiguamente, Asociación Nacional de Contratistas de calefacción, tuberías y aire acondicionado) ha adoptado métodos para tarar calderas que están expresados en base a la carga neta en pies cuadrados de superficie de radiación equivalente (EDR) de vapor.

La MCA ha adoptado también un código de pruebas y tarado para unidades caldera-quemador que ellos aplican al tarado de tipos de calderas comerciales de calefacción de chapa calentada con combustible líquido o gaseoso. Este código permite un tarado elevado, mayor que el que se permite por el código SBI. Se establece una capacidad bruta con ciertos factores limitadores que se aplican a la temperatura de los gases de salida, dióxido de carbono, rendimiento y calidad del vapor. Esta capacidad se divide por 1,5 para determinar la capacidad neta MCA.

Tarado de la Asociación Americana de Fabricantes de Calderas. Este método de tarado, desarrollado por la rama de calderas compactas piro-tubulares de la ABMA (Asociación Americana de Fabricantes de Calderas), es suscrito normalmente por los constructores de calderas compactas y por unos pocos constructores de calderas de fundición y de acero. Las tasas se establecen mediante pruebas de rendimiento de acuerdo con el código de pruebas ASME para unidades generadores de vapor y expresan normalmente un máximo garantizado de capacidad en BTU (kcal) en la tobera de salida o un tarado similar de salida.

CLASIFICACIÓN POR EL SISTEMA DE APLICACIÓN

Las especificaciones del sistema de caldera darán una idea inmediata de la capacidad, presiones y temperaturas que se requerirán. Otra especificación importante es la del combustible, así como su valor para la planta. Los sistemas pueden agruparse según las aplicaciones siguientes:

1. Sistema de calefacción a vapor.
2. Sistema de calefacción por agua caliente.
3. Sistema de proceso de vapor a alta presión.
4. Sistema de generación eléctrica a vapor, usando combustibles fósiles.
5. Sistema de generación eléctrica a vapor, usando combustible nuclear.

6. Sistema que utiliza un fluido de trabajo diferente del agua, como «dowtherm»* para uso en procesos de alta temperatura y baja presión. Estos sistemas están referidos por el código ASME como sistemas de calefacción por fluido orgánico (véase el Capítulo 4).

Sistemas de caldera de calefacción a vapor (Fig. 1.6). Las calderas de calefacción a vapor son normalmente unidades de baja presión de construcción en acero o fundición, aunque las calderas de acero de alta presión pueden usarse también para grandes edificios o zonas de complejos grandes. Normalmente si se hace esto, válvulas reductoras de presión en las líneas de vapor bajan la presión en los radiadores, convectores o baterías de vapor. El término calefacción a vapor también implica que generalmente todos los condensados retornan a la caldera en un sistema de circuito cerrado. La presión máxima permitida en una caldera de calefacción a vapor de baja presión es de 1,05 bar. Las calderas de fundición para utilización de vapor están limitadas a una presión de trabajo (MWP) de 1,05 kg/cm² por el código ASME de calderas y calefacción. Las calderas de fundición están restringidas específicamente por el código ASME, Sección IV, para ser utilizadas exclusivamente para calefacción de vapor de baja presión. Si se utilizan para trabajo en proceso, significaría servicio pesado de vaporización continua y gran cantidad de agua de reposición. Esto produciría rápidos cambios de temperatura en una caldera de fundición, produciéndose tensiones y roturas de piezas. De este modo, el Código restringe su uso para el servicio de calefacción a vapor solamente.

Los sistemas de calefacción a vapor utilizan sistemas de retorno por gravedad o por condensación mecánica. Sus diferencias son las siguientes. Cuando todos los elementos de calefacción (como radiadores, convectores y baterías de vapor) están colocados por encima de la caldera y no se utilizan bombas, se denomina retorno por gravedad, a todos los retornos de condensado a la caldera por gravedad. Si hay instalados purgadores o bombas para ayudar al retorno de condensados, el sistema se denomina de retorno mecánico. Además de los purgadores, este sistema normalmente comprende un depósito de condensados, una bomba de condensados o un tanque o bomba de vacío (Fig. 1.6c).

Dispositivos de protección requeridos por la Sección IV del código ASME. Como consecuencia de serias explosiones ocurridas en calderas de baja presión en el pasado, el código ASME requiere controles redundantes para calderas con tasas de entrada térmica de más de 200.000 BTU/hora (50.400 kcal/hora). Estas calderas trabajan automáticamente, sin prácticamente atención de ningún operario, y sólo se efectúan controles de limpieza por el propietario o un operario. Ésta es la razón por la que ASME requiere para calderas de vapor lo siguiente:

1. Cada caldera de calefacción a vapor debe tener un manómetro de presión de vapor con una escala graduada a no menos de 2,1 kg/cm² ni a más de

* *N. del T.*: Producto líquido sintético fabricado por la casa DOW CHEMICALS. Su característica principal es la de permanecer líquido hasta muy elevada temperatura y además a muy bajas presiones.

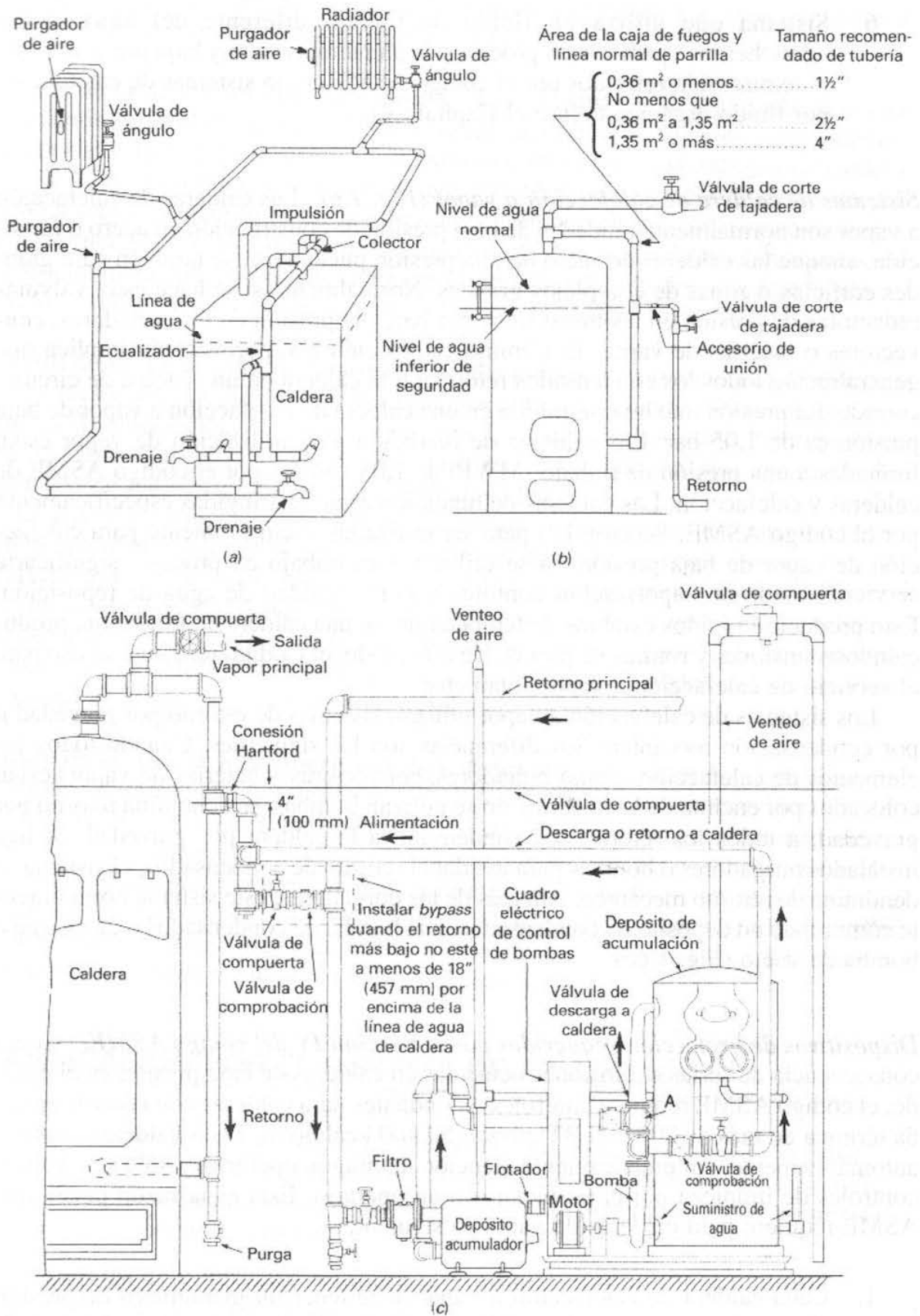


Figura 1.6. Sistemas de calefacción por vapor. (a) Sistema monotubular de venteo de aire. (b) Bucle de retorno de tubería de tipo Hartford. (c) Sistema de tubo de retorno en vacío.

- 4,2 kg/cm². Las conexiones a la caldera no deben ser de menos de 1/4" (6,35 milímetros) de diámetro de tubería normal, pero si se utiliza tubo de acero estirado, no debería ser menor de 1/2" (12,7 mm) de diámetro.
2. Cada caldera de vapor de tener un nivel de agua de vidrio conectado a la caldera por válvulas no menores de 1/2" (12,7 mm) de diámetro y con un drenaje en el nivel de vidrio no menor de 1/4" (36,35 mm). La parte visible del vidrio de nivel de agua debe estar a no menos de 1" (25,4 mm) por encima del mínimo nivel permisible de agua estipulado por el fabricante de la caldera.
 3. Dos controles de presión se necesitan en las calderas de calefacción de vapor automáticas:
 - a) Un control de corte por presión que corta o cierra el suministro de combustible cuando se alcanza la presión de trabajo deseada.
 - b) Un control de límite superior no mayor de 1,05 kg/cm² que haga retroceder el control de límite de presión de trabajo de forma que corte o cierre el combustible cuando el control de presión de trabajo no funciona.
 4. Una caldera de calefacción a vapor automática debe tener un control por bajo nivel de agua de corte de combustible colocado de forma que el dispositivo cortará el suministro de combustible cuando el nivel de agua caiga por debajo de la parte inferior visible del nivel de vidrio de agua. Las válvulas de corte de combustible por bajo nivel deben estar conectadas a la caldera mediante «tes» (T) de material no ferroso sobre «íes» (Y) de tamaño no menor de 1/2" (12,7 mm) de diámetro de tubo y deben tener grifos de drenaje de no menos de 3/4" si están incorporados a una cámara del dispositivo de corte por bajo nivel, de forma que la cámara y el tubo de conexión puedan limpiarse periódicamente de lodos. Este drenaje también permite comprobar si el dispositivo de bajo nivel corta el combustible a medida que baja el nivel de agua y aire en la cámara durante la purga*.
 5. Cada caldera de calefacción a vapor debe tener, al menos, una válvula de seguridad del tipo cargada a resorte, ajustada y sellada para descargar a una presión no mayor que la máxima permisible de la caldera. Ninguna válvula de seguridad puede ser menor de 1/2" (12,7 mm) de diámetro o mayor de 4 1/2" (114,3 mm) de diámetro. La capacidad de las válvulas de seguridad debe exceder el caudal de salida por encima de la máxima presión admisible de la caldera de la caldera en libras/hora o kg/hora, pero en ningún caso debería ser menor de esa capacidad de forma que en el equipo de combustión, a su capacidad máxima, la presión no pueda exceder de 5 psi (0,35 kg/cm²) por encima de la presión máxima admisible de la caldera.
 6. Todo el circuito eléctrico de control en calderas automáticas de calefacción a vapor está puesto a tierra positivamente y trabajará a 150 voltios (V) o menos de tensión. El sistema de cableado debe incluir un neutro a tierra así como también todos los equipos estarán puestos, o sea, conectados a tierra.

* *N. del T.*: La purga es el sistema por el cual se baja la concentración de sólidos, lodos y sales del agua de la caldera hasta situarla dentro de los límites admisibles (p.p.m.) de la caldera según sus características de presión y temperatura de trabajo.

7. Las calderas de calefacción a vapor automáticas deben estar equipadas con seguridad de llama*, y sus controles de corte y seguridad, según se indica en los controles para calderas de calefacción de agua caliente.

Las válvulas de corte en la línea de suministro de vapor no se requieren para la instalación de una sola caldera que se utilice para calefacción a baja presión, si no hay otras restricciones en las líneas de vapor y condensados y todo el condensado se retorna a la caldera. Pero si se coloca una válvula de corte (o purgador) en la línea de retorno de condensado, se necesita una válvula en la línea de suministro de vapor. También se necesita válvula de corte en la línea de suministro de vapor cuando se usa más de una caldera de calefacción en la misma línea o sistema de suministro de vapor y también sobre la línea de retorno de condensados a cada caldera.

Sistemas de agua caliente. Como punto de partida hay tres clases generales de sistemas de agua caliente: sistemas de suministro de agua caliente (en España, ACS) para lavado y usos similares; sistemas de calefacción espacial del tipo de baja presión, a menudo denominados sistemas de calefacción de edificios (véase la Figura 1.7 de la página 26) y sistemas de agua de alta temperatura y alta presión, también denominamos sistemas «*supertherm*», operando a temperaturas de más de 250 °F (121 °C) y presiones de más de 360 psi (11,2 kg/cm²) (véase el Capítulo 4)**.

Ambos sistemas, los de calefacción por agua caliente y los de agua a alta temperatura, requieren algún tipo de vaso de expansión para permitir la dilatación del agua cuando se calienta, sin permitirse un aumento correspondiente de presión. Un problema corriente de los sistemas de calefacción-agua caliente es que el vaso de expansión pierde su colchón de aire, de forma que el sistema de agua no puede expandirse sin elevar la presión del sistema. Si este problema se desprecia, la presión puede subir hasta el punto de que la válvula de seguridad puede abrirse y tirar agua. Así, es necesario un chequeo periódico de la presión y un posible drenaje del vaso de expansión puede ser necesario para restablecer el colchón de aire.

Dispositivos protectores para sistemas de calefacción y agua caliente. El código ASME de calderas de calefacción requiere algunos dispositivos protectores mínimos en los sistemas de calefacción y ACS. Entre ellos están los siguientes:

1. Un manómetro o medidor de altura de columna de agua se necesita en la caldera de agua caliente, con una escala y dial graduada a no menos que 1,5 veces (y no más de tres veces) la presión a la que está tarada la válvula de seguridad.
2. Un termómetro o dial (circular, lineal o de capilla) se necesita en la caldera de agua caliente que esté conectado y localizado de modo que pueda leerse cuando la presión o altura de agua de la caldera sea efectiva. La graduación del termómetro debe ser en grados centígrados (en grados Fahrenheit, en Estados Unidos) y el termómetro debe situarse de modo que la temperatura del agua de la caldera se puede mirar en o cerca de la salida del agua caliente.

* *N. del T.*: Por célula fotoeléctrica o dispositivo iónico o similar que corte el suministro de combustible a la caldera si el aparato no detecta llama o ésta se apaga.

** *N. del T.*: Conocidos en España como sistemas de agua sobrecalentada.

3. Se necesitan dos controles en las calderas automáticas de agua caliente:
 - a) Un control operativo del límite de trabajo que corte el suministro de combustible cuando la temperatura del agua alcance el límite operativo deseado.
 - b) Un control de límite superior que realimente el control operativo del límites y corte el suministro de combustible. Este control de límite superior está ajustado a una temperatura por encima de la de trabajo deseada, pero debe ajustarse de modo que la temperatura del agua no exceda de 250 °F (121 °C) en la salida de la caldera.
4. Un control de corte por bajo nivel de agua se necesita en las calderas automáticas de agua caliente alimentadas con combustible con potencias térmicas superiores a 400.000 BTU/hora (100.000 kcal/hora). Debe instalarse de forma que corte el combustible cuando el nivel de agua caiga por debajo del nivel de seguridad admisible establecido por el fabricante de la caldera.
5. Todo el circuito eléctrico de control en las calderas automáticas de agua caliente alimentadas con combustible, así como en las de calefacción a vapor, debe estar puesto a tierra positivamente y debe operarse a 150 voltios o menos. El sistema de cableado debe incluir asimismo un neutro así como equipo de puesta a tierra (cableado y «picas» de toma de tierra).
6. Una caldera de calefacción de agua caliente debe estar equipada con válvulas de seguridad de muelle aprobadas por el código ASME y ajustadas a o por debajo de la presión máxima admisible de la caldera. El tamaño mínimo de válvula es de 3/4" (19 mm) y el máximo permitido es de 4,5" (114,3 mm). La capacidad debe ser mayor que la de salida de caldera (marcada) pero en ningún caso deberá subir la presión más de un 10 por 100 por encima de la máxima presión admisible, si el equipo de combustión trabaja a su capacidad máxima.
7. Las calderas automáticas de combustible líquido o gaseoso y de vapor o agua caliente de calefacción deben estar equipadas con controles de seguridad de llama que corten el combustible cuando haya una combustión inadecuada en el quemador. El código ASME hace referencia a otras normas nacionales reconocidas para mayores requerimientos. Éstos normalmente comprenden la provisión de llama piloto y principal, así como ciclos de encendido, post encendido y barrido por purga*.

Las válvulas de seguridad oficialmente taradas por ASME deben utilizarse en calderas de calefacción por agua caliente. Una válvula de seguridad tarada oficialmente lo está para su presión de ajuste o tarado y para su capacidad de alivio en BTU/hora (o kcal/hora). También debe estar equipada con una palanca manual de prueba; debe cargarse a resorte o muelle y no debe ser del tipo de ajuste de tornillo y tuerca.

* *N. del T.*: Es decir, eliminación del hogar de todos los calentadores gases o líquidos mediante un ciclo de barrido o soplado por aire, de modo que se impida la explosión por acumulación de los mismos al intentar un nuevo encendido, sobre todo si es automático. Se supone que, en el encendido manual, el operador debe controlar si han quedado restos de combustible y eliminarlos previamente.

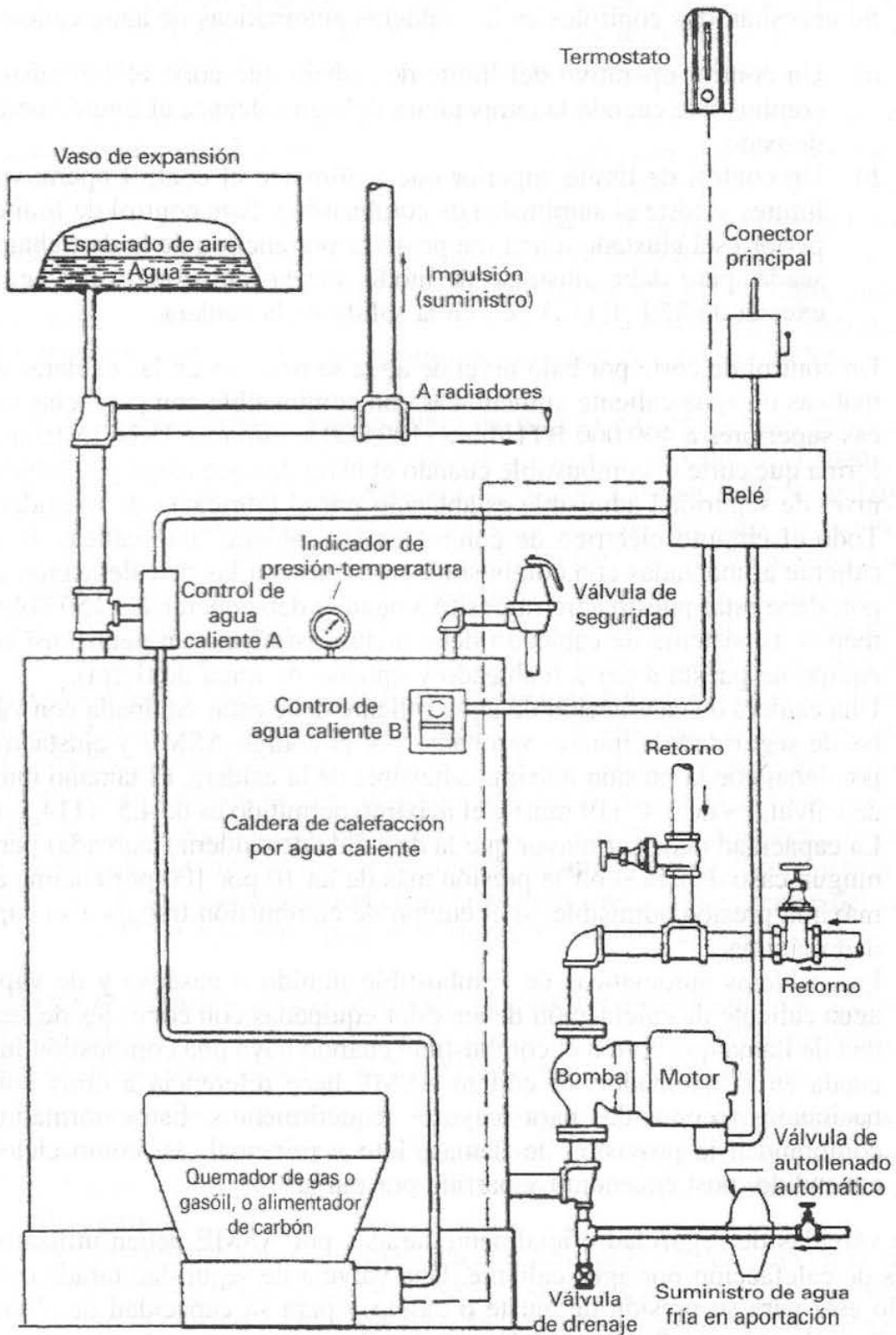


Figura 1.7. Componentes necesarios para un sistema de calefacción por agua caliente.

El *nivel bajo* de agua puede ocurrir en una caldera de tipo de calefacción-agua caliente por diversas razones como las siguientes: (1) pérdida de agua debida a falta de control o vigilancia en: (a) drenaje de la caldera para reparación o parada veranie-

ga sin eliminar la posibilidad de encendido, (b) extracción de agua caliente de la caldera; (2) pérdida de agua en el sistema de distribución a causa de: (a) fugas en la tubería causadas por roturas, dilatación o corrosión, (b) fugas en la caldera, (c) fugas a través de la bomba u otro equipo en operación; (3) descarga de la válvula de seguridad por exceso de calentamiento; (4) línea de agua de alimentación municipal obstruida o cerrada.

Además, adicionalmente a la válvula de seguridad de presión, debería instalarse un dispositivo de corte de combustible por bajo nivel de agua en toda caldera automática alimentada por combustible.

Sistemas de vapor para generación eléctrica. La mayor parte de las instalaciones de caldera usadas para generación de energía eléctrica son del tipo supercrítico o subcrítico. El generador de vapor es un elemento importante en la generación de energía eléctrica. La Figura 1.8 de la página siguiente es un diagrama de flujo simplificado de una central eléctrica. Los tres componentes más importantes son el generador de vapor (caldera) mostrado a la izquierda; el grupo turbina-generador eléctrico, mostrado acoplado a la derecha; y el condensador, situado debajo de la turbina. El principal elemento que une las tres partes del equipo es el vapor, a menudo denominado medio de trabajo, producido por una caldera de alta presión. El vapor se desplaza sucesivamente desde la caldera a la turbina y de ésta al condensador. El ciclo de agua de alimentación, también mostrado en el diagrama, completa este circuito haciendo el flujo continuo desde el condensador hasta la caldera. Así, a la elevada temperatura final del ciclo, el generador de vapor transfiere o convierte energía calorífica del combustible a la energía térmica en forma de vapor de agua sobrecalentado. La turbina después transforma el calor del vapor en trabajo mecánico y acciona el generador eléctrico que está acoplado a ella. El generador a su vez transforma esta energía mecánica en energía eléctrica.

Generación eléctrica nuclear de vapor. El vapor para generación eléctrica se produce también por calor producido en un reactor de energía nuclear. El sistema de reactor de agua en ebullición (BWR) está mostrado en la Figura 1.9a de la página 29. La vasija del reactor soporta y contiene el núcleo del reactor y proporciona los caminos necesarios para que el fluido entre en el núcleo y el vapor no lo abandone. El agua que pasa sobre el núcleo caliente genera vapor que fluye a través de los separadores de vapor-agua dentro de la vasija del reactor y después a través de los secadores, donde el contenido de humedad del vapor se reduce. El vapor pasa posteriormente a través de la línea de vapor directamente a la turbina-generador como se ve en la figura. El sistema de reactor de agua presurizada, mostrado en la Figura 1.9b, tiene una vasija de reactor y núcleo bastante similar al tipo BWR, pero el fluido pasa a través del reactor (bucle primario) y no se mezcla con el que pasa a través de la línea de vapor en el lado turbina. El calor se transfiere desde el sistema del reactor al sistema turbina en el generador de vapor. Realmente, el agua en el reactor y bucle primario no hierve, incluso a 600 °F (316 °C), por ejemplo, porque está mantenida a muy alta presión. En el generador de vapor, sin embargo, este agua pasa a través de los tubos que están rodeados por el agua del bucle de turbina, que está a una presión mucho menor. Para usar el mismo ejemplo, una transferencia de 500 °F (260 °C) al bucle de presión baja de la turbina es adecuada para hervir el

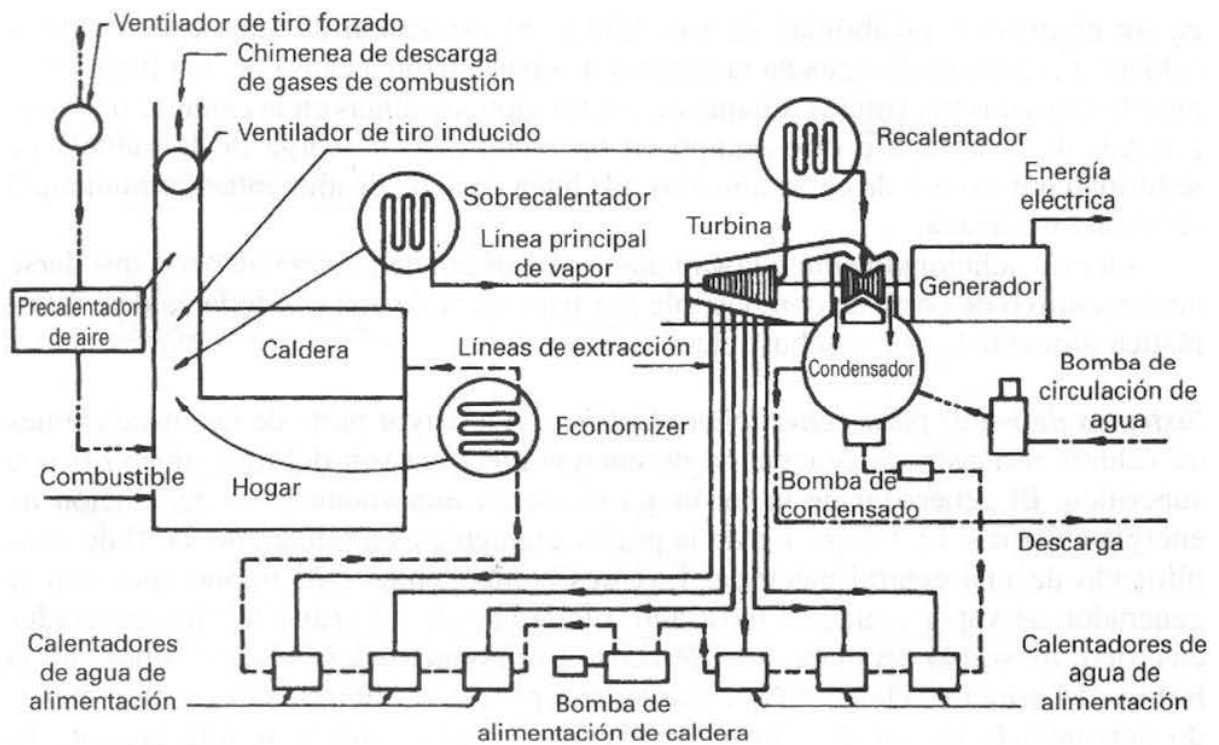


Figura 1.8. Planta generadora de energía eléctrica con caldera de vapor de alta presión y tubogenerador de vapor conectado, condensador, calentadores de agua de alimentación y bomba de alimentación de agua de caldera.

agua y producir el vapor necesario para operar la turbina-generador eléctrico. Habiendo cedido la mayoría del calor, el agua en el bucle primario se bombea al reactor para ser recalentada y utilizada de nuevo, en circuito cerrado.

Sistemas de proceso de alta presión. Los sistemas de proceso de alta presión pueden utilizar calderas pirotubulares o acuotubulares, dependiendo de la presión o capacidad necesarias. El vapor se utiliza para accionamiento mecánico de la turbina o turbogenerador, para accionamiento de compresores, bombas y equipos similares o para los procesos de suministrar alta presión o temperatura para las necesidades del ciclo de fabricación.

ORGANIZACIONES RELACIONADAS CON NORMATIVA

Código ASME de Calderas. El código ASME de Calderas y el Código de inspección del National Board, Asociación Nacional de inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, en Estados Unidos, son una fuente importante de documentos para requisitos legales en los diversos estados y municipalidades que han adoptado leyes de seguridad de calderas. Adicionalmente, sirven para mantener activos los comités de calderas y recipientes a presión en orden a tener los códigos publicados al día con la tecnología en avance, así como las ediciones sucesivas del código ASME para fabricantes cualificados, montadores, suministradores de material y propietarios de

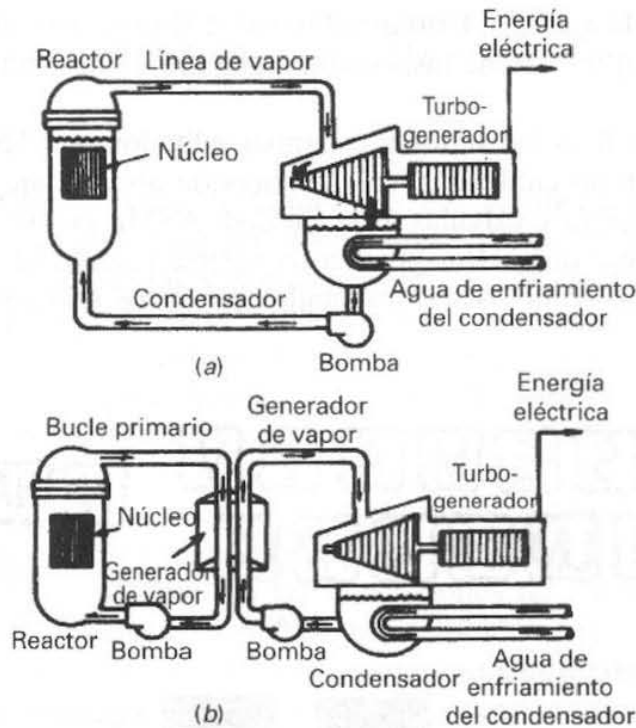


Figura 1.9. Dos tipos de sistemas de reactor de energía nuclear. (a) Reactor de agua en ebullición. (b) Reactor de agua presurizada.

plantas de energía nuclear con los sellos y marcas de código indicando que el fabricante ha recibido autorización de ASME para construir calderas y recipientes a presión según la citada normativa ASME.

Un requisito fundamental del Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión, para ser aprobado oficialmente y designado con el sello ASME, es que se debe sufrir una inspección por parte de un tercer organismo autorizado* durante la construcción para cumplir con los requisitos normativos en vigor. La mayoría de las inspecciones por terceros son llevadas a cabo por inspectores autorizados de calderas y recipientes a presión que tienen experiencia adecuada y han pasado por un examen escrito en una jurisdicción**. Deben estar empleados bien por el Estado o bien por una compañía de seguros autorizada para suscribir seguros de calderas y recipientes a presión en la jurisdicción donde se va a construir la caldera o recipiente a presión, y en algunos casos la situación de la instalación también debe considerarse. Como requisitos uniformes para los inspectores que han sido inspirados e implementados por el National Board de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, una caldera o recipiente a presión inspeccionada por un inspector acreditado adecuadamente por el National Board será, generalmente, aceptada por todas las jurisdicciones.

El fabricante o contratista que desee construir o montar calderas o recipientes a presión bajo la garantía de un certificado de autorización ASME debe primero ponerse de acuerdo con una agencia de inspección autorizada cuyas inspecciones serán

* *N. del T.:* En España, serían los ENICRES (entidades autorizadas por el Ministerio de Industria para realizar oficialmente las inspecciones de calderas).

** *N. del T.:* En España, en las Delegaciones de Industria de las Autonomías correspondientes.

llevadas a cabo por la agencia. Esto usualmente se arregla por ambas partes firmando un contrato por el trabajo de inspección realizado en base a unos derechos de la Agencia Fedataria.

La Figura 1.10a lista los sellos a estampar editados por ASME para calderas, recipientes a presión no caldeados, calentadores de almacenaje (acumuladores) de agua, tuberías de energía y válvulas de seguridad. ASME puede suministrar detalles a los fabricantes sobre qué sellos pueden requerirse cuando se consideran componentes de fabricación como los representados por estos sellos o estampas (en alemán, «stelpen»).



(a)

CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS



A - Centro de calderas de potencia
B - Calderas miniatura
PP - Tubería de presión
S - Calderas de potencia



N - CERTIFICADOS TIPO Y/O CERTIFICADOS DE ACREDITACIÓN N, NA, NPT.

LIBROS DEL CÓDIGO REQUERIDOS



LIBROS DEL CÓDIGO REQUERIDOS

SECCIÓN I - Calderas de potencia
SECCIÓN II - Especificaciones de materiales
Parte A - Materiales ferrosos
Parte B - Materiales no ferrosos
SECCIÓN IV - Examen no destructivo
SECCIÓN IV - Soldadura y calificaciones de esfuerzo
B31.1 - Tubería de potencia



SECCIÓN III - Reglas para la construcción de plantas de energía nuclear

Subsección de componentes NCA-Requisitos para los apéndices de división 1 y división 2.

SECCIÓN IV - Examen no destructivo
SECCIÓN IV - Soldadura y calificaciones de esfuerzo

Adicionalmente, los aplicantes deben tener otras subsecciones de la sección III dependiendo del alcance de certificados como sigue:



CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

H - Calderas de calefacción
HLW - Calentadores de agua potable revestidos



CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

SECCIÓN II - Especificaciones de materiales
Parte A - Materiales ferrosos
Parte B - Materiales no ferrosos
Parte C - Varillas de soldadura
SECCIÓN IV - Examen no destructivo
SECCIÓN IV - Soldadura y calificaciones de esfuerzo

Subsección NB - componentes de la clase 1
Subsección NC - componentes de la clase 3
Subsección ND - componentes de la clase 3
Subsección NE - componentes de la clase MC
Subsección NF - componentes de soportes
Subsección NG - estructuras de soportes del núcleo
División 2: Códigos para vasija de reactor de hormigón y contenedores



CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

E - Calderas eléctricas

CÓDIGO DE SÍMBOLOS DE LOS SELLOS

SECCIÓN I - Calderas de potencia
SECCIÓN II - Especificaciones de materiales
Parte A - Materiales ferrosos
Parte C - Varillas de soldadura

Figura 1.10. (a) Sellos de código ASME aplicable a calderas y componentes nucleares. (b) Secciones de Libros del código de calderas requeridos por el código de sellos ASME.

La Figura 1.10b lista los sellos requeridos para energía y componentes nucleares, calderas y calefacción eléctrica con los libros del Código ASME para estos sellos.

National Board of Inspectors de Calderas y Recipientes a Presión. El Comité Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión está compuesto por los Inspectores Jefes de los estados y municipios de los Estados Unidos y provincias canadienses. Esta organización ha establecido criterios para los requisitos de experiencia de los inspectores de calderas, la promoción y conducción de exámenes uniformes y las pruebas que son utilizadas por las jurisdicciones. El NB edita comisiones para los inspectores que pasen un examen NB, que son aceptados sobre una base recíproca por la mayoría de las jurisdicciones, dando así una característica de «al portador» a la credencial. La organización NB también edita un sello, denominado sello «R» para organizaciones que deseen ser certificadas como «reparadores» normalizados. Esto también se aplica a las reparaciones de válvulas de seguridad y reparaciones de vasijas nucleares a presión que también merecen un sello separado de la NB. Los inspectores de la NB deben obtener un certificado de competencia NB, que cualifica al inspector para efectuar inspecciones de campo in situ para una jurisdicción sobre la base de obtener un mandato jurisdiccional o comisión para realizar estas inspecciones de calderas y recipientes a presión.

Los inspectores NB que realicen una inspección como tercera parte en las instalaciones del fabricante, denominada «inspección en taller», deben pasar otro examen sobre certificado de competencia para poder ser designados por una agencia autorizada de inspección como inspector autorizado para trabajos de inspección según normativa durante la fabricación de una caldera o recipiente presión. Esto se denomina un comisionado NB con un endoso «A». Un programa similar existe (en Estados Unidos) para inspectores NB que realizan su trabajo sobre recipientes nucleares a presión. Unas pruebas especiales (exámenes) sobre aseguramientos de calidad y técnicas no destructivas deberán pasarse antes de que la comisión NB pueda recibir un endoso «N» (nuclear).

La NB tiene una extensa lista de publicaciones y formularios en relación con la seguridad de calderas y recipientes a presión. Su dirección en Estados Unidos es:

National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors
1055 Crupper Ave.
Columbus, OH 43229

Los que emplean a los inspectores comisionados NB deben calificarse como agencias de inspección autorizadas (en España hay entidades colaboradoras del Ministerio de Industria que realizan comisionadas estas tareas y se denominan ENICRES). Éstos son en Estados Unidos cuerpos jurisdiccionales o autorizados o compañías de seguros con licencia para ello. El inspector debe ser contratado por estas agencias por razones de responsabilidad técnica y financiera bajo la presente normativa codificada. Así existen tres tipos de inspectores comisionados. Estos inspectores hacen los informes e inspecciones legales a una o en una jurisdicción en el sentido de que una caldera o recipiente a presión es segura o insegura para trabajar o de que

requiere unas reparaciones antes de poder operarse. Estos tres tipos de inspectores son, a saber:

1. Los inspectores estatales, provinciales o municipales comprueban que se observan todas las provisiones de la ley sobre calderas y recipientes a presión y que se cumplen todas las normas y regulaciones de la jurisdicción. Cualquier orden de estos inspectores debe cumplirse* sin excepción ni cortapisa, e incluso atender las peticiones operativas del propietario u operador.
2. Los inspectores de compañías aseguradoras cualificadas para realizar las inspecciones jurisdiccionales según normativa, y si están comisionados por la ley de la jurisdicción en la cual están localizados, pueden también realizar estas inspecciones periódicas. Como inspectores comisionados exigen el cumplimiento de todas las previsiones legales, normas y reglamentos de las autoridades. Además pueden recomendar cambios que prolongen la vida de la caldera o recipiente a presión.
3. Los inspectores del propietario-usuario son empleados por una compañía para inspeccionar recipientes a presión o sus elementos sólo y no para subcontratación por dicha compañía o sociedad. Deben estar cualificados y amparados por la normativa del estado o municipio de los que han adoptado dicha normativa. La mayoría de los estados no permiten a este grupo de inspectores servir en lugar de los inspectores del estado o de las compañías aseguradoras.

La mayoría de las áreas de Estados Unidos y todas las jurisdicciones en Canadá exigen que las calderas de alta presión sean sometidas a inspección periódica por un inspector** jurisdiccionalmente reconocido. En la mayoría de las jurisdicciones, ésta consiste en una inspección interna anual de las calderas de energía (potencia) e inspección bianual de las calderas de calefacción y normalmente de los recipientes a presión para aquellos estados que han adoptado legislaciones sobre calderas de baja presión o recipientes a presión no calentados.

Si se comprueba que los resultados son satisfactorios, la jurisdicción emite un certificado de inspección, autorizando el uso de la caldera o recipiente durante un período específico de tiempo.

Las Figuras 1.11a y b y la 1.12 de la página 34 listan los estados, ciudades y condados de los Estados Unidos y provincias de Canadá que tienen alguna forma de instalación y requisitos de inspección sobre calderas y algunos recipientes a presión no calentados. Estas leyes varían mucho. Por ejemplo, sobre calderas de baja presión, los requisitos de reinspección pueden limitarse a instalaciones situadas en locales de concurrencia pública. Otras incluyen todas las calderas de calefacción, excepto aquellas situadas en residencias privadas o en casas de apartamentos con seis familias o menos. Además deberán comprobarse las leyes locales o estatales para más requisitos específicos.

* Y esto debe estar garantizado.

** *N. del T.*: En España, análogamente, se exige por Industria esta inspección así como la de prueba a presión hidrostática de una vez y media la presión de trabajo, cada vez que se reparen tubos u otros componentes a presión de las calderas industriales.

Estado o provincia	Acepta informes de la compañía de seguros (X = sí)	Necesaria inspección para		
		Calderas de alta presión	Calderas de baja presión	Recipientes a presión (no calderas)
(a) Estados Unidos				
Alaska	X	X	X	X
Alabama	—			
Arizona	X	X	X	—
Arkansas	X	X	X	X
California	X	X	—	X
Colorado	X	X	X	—
Connecticut	X	X	X	—
Delaware	X	X	X	X
Columbia	X	X	X	X
Florida	X	X	X	—
Georgia	X	X	X	X
Hawaii	X	X	X	X
Idaho	X	X	X	X
Illinois	X	X	X	X
Indiana	X	X	X	X
Iowa	X	X	X	X
Kansas	X	X	—	—
Kentucky	X	X	X	X
Louisiana	X	X	X	X
Maine	X	X	X	—
Maryland	X	X	X	X
Massachusetts	X	X	X	X
Michigan	X	X	X	—
Minnesota	X	X	X	X
Mississippi	X	X	X	X
Missouri	X	X	X	X
Montana	X	X	X	—
Nebraska	X	X	X	X
Nuevo México	Sin ley	—	—	—
Nevada	X	X	X	X
New Hampshire	X	X	X	X
New Jersey	X	X	X	X
New York	X	X	X	—
Carolina del Norte	X	X	X	X
Dakota del Norte	X	X	X	—
Ohio	X	X	X	—
Oklahoma	X	X	X	X
Oregon	X	X	X	X
Pennsylvania	X	X	X	X
Rhode Island	X	X	X	X
Carolina del Sur	Sin ley	—	—	—
Dakota del Sur	X	X	X	—
Tennessee	X	X	X	X
Texas	X	X	X	—
Utah	X	X	X	X
Vermont	X	X	X	X
Virginia	X	X	X	X
Washington	X	X	X	X
West Virginia	X	X	—	—
Wisconsin	X	X	X	X
Wyoming	Sin ley	—	—	—
(b) Canadá				
Alberta	No	X	X	X
Columbia británica	No	X	X	X
Manitoba	No	X	X	X
New Brunswick	No	X	X	X
Newfoundland	No	X	X	X
Northwest Territories	X	X	X	X
Nueva Escocia	X	X	No	X
Ontario	X	X	X	X
Quebec	X	X	X	X
Saskatchewan	No	X	X	X
Territorio Yukon	No	X	X	X
Tierra del Príncipe Eduardo	X	X	X	X

Figura 1.11. (a) Estados y (b) provincias canadienses que tienen leyes de reinspección de calderas y de recipientes de alta presión.

Ciudad o condado	Acepta informes de la compañía de seguros (X = sí)	Calderas de alta presión	Calderas de baja presión	Recipientes a presión (no calderas)
Albuquerque, N. Mex.	X	X	X	—
Buffalo, N.Y.	X	X	X	—
Chicago, Ill.	No	X	X	—
Dearborn, Mich.	X	X	X	X
Denver, Colo.	No	X	X	X
Des Moines, Iowa	X	X	X	—
Detroit, Mich.	UPV sólo	X	X	X
E. St. Louis, Mich.	No	X	X	X
Greensboro, N.C.	X	X	X	X
Kansas City, Mo.	X	X	X	X
Los Angeles, Calif.	X	X	X	X
Memphis, Tenn.	X	X	X	X
Miami, Fla.	X	X	X	X
Milwaukee, Wisc.	X	X	X	X
New Orleans, La.	X	X	X	X
New York City, N.Y.	X	X	X	—
Oklahoma City, Okla.	X	X	X	—
Omaha, Neb.	X	X	X	—
Phoenix, Ariz.	X	X	X	X
St. Louis, Mo.	X	X	X	X
San Francisco, Calif.	X	X	X	X
San José, Calif.	X	X	X	—
Seattle, Wash.	X	X	X	X
Spokane, Wash.	X	X	X	X
Tacoma, Wash.	X	X	X	X
Tampa, Fla.	X	X	X	X
Tucson, Ariz.	X	X	X	X
Tulsa, Okla.	No	X	X	X
University City, Mo.	No	X	X	—
White Plains, N.Y.	X	X	X	—
Arlington County, Va.	X	X	X	—
Dade County, Fla.	X	X	X	X
Fairfax County, Va.	X	X	X	X
Jefferson Parish, La.	X	X	X	X
St. Louis County, Mo.	X	X	X	X

Figura 1.12. Ciudades o condados que tienen leyes de reinspección de calderas y de recipientes de alta presión.

Otras organizaciones de aprobación. Estas organizaciones están relacionadas con todas las clases de riesgos potenciales de incendios o seguridad eléctrica. Así sus etiquetas aparecerán sobre transportes (trasiegos) de combustible emplazados en el lugar de funcionamiento de calderas y sobre controles y cableados eléctricos. Muchas jurisdicciones y códigos contra incendios hacen referencia a estas etiquetas de cuerpos u organismos de aprobación y control legal; por otra parte, estas normativas son importantes en la instalación de calderas.

Underwriters Laboratory, UL (Laboratorio de asegurados), es una entidad activa en Estados Unidos en la aprobación de equipo eléctrico para diferentes aplicaciones de normativa establecida de seguridad y, si el producto las cumple satisfactoriamente, se le aplica la etiqueta UL.

Laboratorios Factory Mutual, FM, aprueba equipo sometido por fabricantes y también aprueba instalaciones finales, como conjuntos de combustión, si la instalación satisface sus normas y requisitos.

Aseguradores de riesgos industriales, IRI, es una organización comercial de compañías que tiene laboratorios de pruebas y también inspecciona cada instalación asegurada para su aprobación para la etiqueta IRI. Esto incluye cumplir sus normas para las instalaciones de combustión sobre calderas, pasos de gases, hogares y controles de seguridad de llama del quemador. La organización está también implicada en equipos de protección de incendios, como también FM, para «sprinklers» o rociadores y sistemas de detección y alarma de incendios.

La *Asociación Americana del Gas, AGA*, etiqueta al equipo de combustión de gases que satisface sus normas. Por ejemplo, en equipo de combustión, cuando la potencia es de más de 400.000 BTU/hora (100.000 kcal/hora) la norma exige controles de seguridad y detección de llama, incluyendo pruebas de ignición y prueba de ignición de llama principal.

Como puede verse, estos grupos de aprobación, exigen seguridad antes de aplicar su etiquetado a un equipo o sistema que puede presentar riesgo de incendio, explosión o combustión.

Certificación ISO 9000. Ésta es una serie internacional de normas de gestión de control de calidad publicadas en 1987 por la organización internacional para la normalización (ISO). Las compañías europeas han sido líderes en adoptar este sistema de gestión de control de calidad que establece un programa de control de calidad, un sistema manual y los medios o controles para establecer los requisitos. La ISO 9000 es paralela al código ASME en muchos casos para calderas y recipientes a presión y para documentación de componentes nucleares.

La Comunidad Europea dio el impulso para promover un sistema de gestión normalizado del control de la calidad, pero las compañías estadounidenses implicadas en operaciones internacionales están también empezando a considerar el registro ISO de su sistema de control de calidad porque los compradores de sus equipos o servicios están especificando el registro de la serie de ISO 9000 (certificado) como parte de los contratos. La compañía que desea estar certificada por esta normativa primero selecciona el modelo de sistema requerido, instala el modelo y prepara un manual de control de calidad que es después revisado por un auditor independiente. Éste revisa y anota si el manual de control de calidad sigue las líneas maestras de la serie ISO 9000 de normas. Véase la Tabla 1.1 de la página siguiente. El equipo auditor chequea después el sistema in situ para el establecimiento del manual de control de calidad y para el comité de gestión. El equipo auditor puede recomendar la certificación.

Como puede verse en la Tabla 1.1, una organización debe seleccionar la serie en que desea el *certificado*. Esto puede incluir su operación o trabajo total, o puede solucionarse en áreas particulares para su certificación. Los registradores reconocidos por los auditores preparan un informe de sus hallazgos para un comité equilibrado compuesto de representantes de industrias similares. El comité decide si una aplicación para acreditar una organización es aprobada y el registrador después emite un certificado de registro para el aplicante. Este certificado detalla el alcance de la actividad del programa del aplicante, al cual se aplica la serie 9000.

Tabla 1.1 Sistema de gestión del control de calidad, serie ISO 9000

ISO 9000 Listado.	Responsabilidad de gestión, principios del sistema de calidad, control y diseño de material, procedimientos de inspección prueba, adecuación del equipo de medida y pruebas, manejo, almacenaje y entrega, control documentación, control de calderas, adiestramiento, métodos estadísticos utilizados, procedimientos de auditoría internos, marketing de calidad, control de compras, control de procesos, control de producción, procedimientos de acción colectiva, control de investigación y desarrollo, servicio posventa, seguridad y garantía del producto.
ISO 9001 Actividad.	Diseño, producción, instalación y servicio de producto.
ISO 9002 Actividad.	Se aplica sólo a producción e instalación.
ISO 9003 Actividad.	Se aplica sólo a inspección formal y pruebas.
ISO 9004 Actividad.	Se aplica a la gestión de calidad y sistema de elementos necesarios para desarrollar y establecer un sistema para la actividad de calderas. Esto comprende y determina la extensión en la que a cada sistema elemental se aplica la actividad.

Reauditorías periódicas se realizan por registradores externos para confirmar que la serie ISO 9000 de requisitos esté siendo cumplida y mantenida.

En los Estados Unidos, grupos de auditores están listados por la Oficina Federal del Gobierno, el Instituto Nacional de Normas y Pruebas (N y ST) en Washington, DC, para certificar. La ISO correspondiente tiene una lista de cuerpos de certificación que suministran la calificación y ayuda estatal de los registros.

Regulaciones medioambientales. Las regulaciones estatales, federales y municipales afectan a los operadores de una planta de calderas. Los sistemas de combustión para caldera y sistemas de energía nuclear tienen que cumplir unos requisitos para su diseño y operación, de forma que el aire, agua y residuos finales de esta planta tengan efectos mínimos sobre el medio ambiente. Las reglamentaciones generales que pueden merecer revisión por los operarios de plantas de calderas incluyen el acta de aire limpio, acta de agua limpia, regulaciones concernientes a la disposición de residuos de riesgo, PCBs, depósitos de almacenaje subterráneo con líquidos o gases peligrosos y asbesto (amianto).

Las calderas que utilizan combustibles fósiles deben ser operadas para poder controlar la cantidad de dióxido de azufre y óxido de carbono emitida a la atmósfera. La monitorización continua de emisiones de estos contaminantes se necesita ahora en las grandes calderas. La monitorización de la radiación y descarga térmica a los ríos o corrientes de agua se exige en centrales nucleares porque éstas producen más descarga térmica por unidad de potencia que las plantas de combustible fósil. Como resultado, durante el tiempo cálido, algunas centrales nucleares deben limitar su carga para evitar la violación de los límites de temperatura en las descargas térmicas impuestos por las agencias de regulación.

La polución del asbesto (amianto) y su eliminación pueden ser un problema en las salas de calderas durante cualquier actividad de reparación*. La organización OSHA** ha establecido un límite admisible de 0,1 fibras por centímetro cúbico para 8 horas de tiempo medio controlado.

Hay una larga lista de normas de seguridad OSHA que pueden afectar a las operaciones de la sala de calderas; éstas se detallan en las regulaciones OSHA 29 CFR 1910.

Los supervisores de las plantas de calderas deberían estar familiarizados con estas normas y reglamentaciones, porque ayudarán a mantener un ambiente de trabajo seguro. Por ejemplo, las normas de trabajo en espacios cerrados o confinados de la OSHA incluyen:

1. Primeras evaluaciones de temperaturas y oxígeno permitidas en espacios cerrados o confinados antes de entrar en ellos.
2. Procedimientos de suministrar ayuda de emergencia para una persona que esté en un espacio cerrado o confinado.
3. Precauciones del puesto próximo a la entrada de un espacio cerrado o confinado.

Los requisitos legales sobre equipos de calderas y plantas de energía nuclear no están ya limitados a las normas de establecimiento de una construcción segura. Han sido ampliados a los requisitos sobre controles, dispositivos para evitar explosiones del hogar y sobre medidas para limitar la polución del aire y la contaminación radiactiva. La propiedad y los operarios deben, periódicamente, revisar sus prácticas de operación y mantenimiento en orden a estar seguros de cumplir con estos requisitos legales adicionales de la jurisdicción en la que el equipo está situado.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

1. ¿Cómo definiría una caldera?

RESPUESTA: Una caldera es un recipiente cerrado a presión en el que se calienta un fluido para utilizarlo por aplicación directa del calor resultante de la combustión de una materia combustible (sólida, líquida o gaseosa) o por utilización de energía eléctrica o nuclear.

2. ¿Qué es una caldera de vapor?

RESPUESTA: Una caldera de vapor es un recipiente cerrado en el cual se genera vapor de agua o de otro fluido para uso externo por aplicación al mismo del calor resultante de la combustión de una materia combustible (sólida, líquida o gaseosa) o por el uso de electricidad o energía nuclear.

3. ¿Qué es una caldera de vapor de alta presión?

RESPUESTA: Una caldera de vapor de alta presión genera vapor a una presión de más de 15 psig (1,05 kg/cm²) efectivos. Por debajo de esta presión se clasifica como caldera de vapor de baja presión.

* *N. del T.*: Del aislamiento exterior de la caldera.

** Occupational Safety and Health Administration: Administración para salud y seguridad en el trabajo.

4. Defina una caldera miniatura de alta presión.

RESPUESTA: Según la Sección I del Código ASME de Calderas y Recipientes a presión, una caldera miniatura es una caldera de alta presión que no excede los siguientes límites: 16" (406 mm) de diámetro interior de virola, 5 pies cúbicos (135 litros) de volumen exclusivo del contenedor de hierro (y aislamiento) y 100 psig (7 kg/cm²) de presión. Si se excede cualquiera de estos límites, es una caldera de potencia (o energía). La mayoría de los estados siguen esta definición.

5. ¿Qué es una caldera de potencia (energía)?

RESPUESTA: Una caldera de potencia es una caldera de vapor que trabaja por encima de 15 psig (1,05 kg/cm²) y que excede del tamaño de una caldera miniatura. Esto también se aplica y comprende a las calderas de calefacción y suministro de agua caliente trabajando por encima de 160 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121 °C).

6. Defina una caldera de calefacción de agua caliente.

RESPUESTA: Una caldera de calefacción de agua caliente es una caldera usada para calefacción espacial o agua caliente, con el agua retornando a la caldera (la de calefacción que impulsa el agua a los radiadores y vuelve de éstos a la caldera). Se clasifica como de baja presión si no excede de 160 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121 °C). Pero si excede estas cifras, pasa a ser caldera de alta presión.

7. ¿Qué es una caldera de suministro de agua caliente?

RESPUESTA: Una caldera de agua caliente suministra agua caliente sanitaria para usarse externamente para lavado, limpieza, etc. Si excede de 100 psi (11,2 kg/cm²) o 250 °F (121 °C) se convierte en caldera de potencia de alta presión.

8. ¿Qué se entiende por un caballo de potencia de caldera?

RESPUESTA: Un caballo de potencia de caldera (HP de caldera) se define como la evaporación o conversión en vapor saturado de 34,5 libras/hora de agua (15,7 kg/hora) a una temperatura de 212 F (100 °C). Así, un caballo de caldera por este método es equivalente a la potencia de 33.475 BTU/hora (8.435,7 kcalorías/hora). En el pasado se tomaron como 10 pies cuadrados (0,9 metros cuadrados) de superficie de calefacción de caldera.

9. El símbolo NB se anota a menudo en Estados Unidos en calderas con un número que le sigue. ¿Para qué se pone?

RESPUESTA: El acrónimo NB significa Asociación Nacional (USA) de Inspectores de calderas y recipientes presión. Significa que el diseño y la fabricación de la caldera fueron controlados en taller por un inspector comisionado NB, incluyendo la supervisión de la prueba hidrostática y firmando las hojas de datos requeridas por ASME.

10. ¿Qué se entiende por superficie de calefacción de una caldera?

RESPUESTA: Ésta es el área del (lado de fuego y gases) de la caldera expuesta a los productos de la combustión. Esta superficie se calcula normalmente en base a las áreas de las siguientes superficies de elementos de caldera: tubos, cajas de fuego, virolas, chapas tubulares y área proyectada de calderines. Véanse los capítulos posteriores sobre cálculos de válvulas de seguridad.

11. Defina los términos tasa IBR, tasa SBT y EDR.

RESPUESTA: El acrónimo IBR equivale a Instituto de fabricantes de calderas y radiadores, que especifica y tasa la potencia de salida de calderas de fundición en potencia bruta y neta en BTU/hora (kcalorías/hora). La potencia bruta se define más adelante como la potencia neta más un exceso para pérdidas o potencia de arranque, carga, aportación de puesta a régimen (de subida de temperatura) y una pérdida térmica las tuberías.

El acrónimo SBI significa Instituto de calderas de acero. La tasa de potencia de salida de caldera SBI especifica y comprende la suma de toda potencia SBI neta en BTU/hora (kcalorías/hora) o libras/hora (kg/hora) más un 20 por 100 extra para pérdidas en tubería, no incluyendo los excesos para subida o puesta en régimen, excesos que sí tenía en cuenta la tasa IBR. La marca SBI exige el número de pies cuadrados (metros cuadrados) de superficie de calefacción para ser grabado o estampado sobre la caldera (o placa oficial de la caldera).

El acrónimo EDR significa Radiación Directa Equivalente. Se refiere estrictamente a la superficie equivalente de radiación en pies cuadrados (metros cuadrados). Se define además como la superficie que emite 240 BTU/hora (360,5 kcal/hora) con una temperatura de vapor de 215 °F (101,6 °C) a una temperatura ambiente de 70 °F (21 °C). Con calefacción por agua caliente se usa el valor de 150 BTU/hora (37,8 kcal/hora) con una caída de temperatura de 20 °F (7 °C) entre entrada y retorno del agua. Este término se utiliza por arquitectos e ingenieros de calefacción al determinar el área de transferencia térmica del equipo de calefacción requerido para calentar un espacio.

12. Cite tres términos utilizados para indicar potencia de caldera.

RESPUESTA: Estos tres términos se utilizan a menudo con los listados de presión y temperatura:

1. Para calderas de vapor, la evaporación real en libras/hora (kg/hora). Para calderas de agua caliente, los BTU/hora (kcal/hora) de potencia para la presión y temperatura dadas, que están grabadas sobre la caldera. Hoy en día éste es el método más utilizado.
2. Pies cuadrados (metros cuadrados) de superficie calefactora.
3. HP de caldera.

13. ¿Qué es una caldera súper crítica de circulación abierta?

RESPUESTA: Es una caldera que trabaja por encima de la presión crítica de 3.206,2 psia (224,4 kg/cm²) y 705,4 °F (374,1 °C) de temperatura de saturación y que no tiene recirculación de fluido cuando trabaja a plena presión y temperatura. El fluido se lleva a presión y temperatura por los pasos de fluido conectados en serie; de ahí el término aplicado.

14. ¿Por encima de qué presión y temperatura se convierte un sistema de caldera de agua caliente en sistema de caldera de agua caliente a alta temperatura?

RESPUESTA: Una caldera de agua caliente se convierte en sistema de caldera de agua caliente a alta temperatura (HTHW) cuando la temperatura del agua sobrepasa los 250 °F (121,1 °C) y la presión está por encima de 160 psi (11,2 kg/cm²).

15. ¿Cuál es la razón principal para usar fluidos térmicos como el dowtherm y el glicol en procesos térmicos?

RESPUESTA: Los fluidos térmicos se usan para obtener temperaturas elevadas a bajas presiones, lo que puede ser difícil de obtener con un equipo de caldera ordinaria de vapor. Nótese que se necesita una presión de 3.602,2 psia (252 kg/cm² absolutos) para obtener un vapor a temperatura de saturación de 705,4 F (374 °C). Esta temperatura puede obtenerse con algunos fluidos térmicos a presiones inferiores a 50 psi (3,5 kg/cm²).

16. Cite tres dispositivos limitadores de presión necesarios en una caldera de calefacción por vapor según los requisitos de código ASME.

RESPUESTA: Los tres dispositivos limitadores de presión son:

1. Un dispositivo de corte operado por presión que corta automáticamente el suministro de combustible cuando se alcanza la presión deseada.
2. Un dispositivo de control de límite superior de presión ajustado a no más de 15 psi (1,05 kg/cm²), que automáticamente corta el suministro combustible cuando se alcanza la presión superior.
3. Al menos una válvula de seguridad cargada a resorte tipo alivio, ajustada y precintada para descargar una presión no mayor que la máxima presión admisible de trabajo de la caldera y con una capacidad suficiente para que la presión en la caldera no pueda exceder de 5 psi (0,39 kg/cm²) por encima de la presión máxima permisible grabada en la caldera.

17. ¿Cuál es el objeto del control del nivel de agua en una caldera de vapor?

RESPUESTA: Mantener el nivel adecuado de agua en la caldera por el control de arranque/parada de la bomba de alimentación de agua a caldera cuando hay demanda de agua mediante el dispositivo de control de límite inferior de nivel de agua, y cortar o cerrar la bomba cuando el nivel de agua del límite superior se alcanza.

18. ¿Qué habría que hacer si al arrancar la caldera se nota que el nivel de agua está rebasado, es decir, por encima del vidrio visible del nivel de agua?

RESPUESTA: Debería cortarse la caldera y drenarse hasta el nivel adecuado. Si el nivel no baja, es una indicación de 1) pérdidas en tubos o 2) mal funcionamiento del controlador de nivel, y la caldera debería ponerse en seguridad hasta que puedan efectuarse las reparaciones necesarias.

19. ¿Cuál es el propósito del corte de combustible por bajo nivel de agua?

RESPUESTA: Cortar el aporte de combustible al quemador antes de que el agua de la caldera rebase el nivel de seguridad admisible, y así evitar daños por recalentamiento de la caldera.

20. Si el nivel de agua cayera por debajo de la parte inferior visible del vidrio y el quemador no corta, ¿qué pasos deben seguirse?

RESPUESTA: Cortar la válvula de llegada de combustible al quemador y cortar la electricidad a la caldera, suponiendo que es una pequeña caldera de vapor automática. Dejar que la caldera se enfríe y entonces comprobar los controles para determinar por qué el controlador de nivel y el corte de combustible por bajo nivel de agua no funcionan como se ha diseñado.

21. ¿Con qué frecuencia debería comprobarse el corte de combustible por bajo nivel de agua en las calderas automáticas?

RESPUESTA: Al menos una vez al día y cada turno, si existe más de un turno de trabajo.

22. ¿Por qué debería la columna de agua del corte de combustible por bajo nivel ser lavada y purgada diariamente drenando los dispositivos respectivos?

RESPUESTA: Esto debería mantener la columna de agua y las cámaras de corte de combustible por bajo nivel de agua libres de sedimentos y suciedad, permitiendo así al corte de combustible por bajo nivel operar cuando se necesite.

23. ¿Por qué deberían mantenerse las aberturas de aire en la sala de calderas limpias y libres de toda obstrucción que pueda estropear o impedir el flujo de aire a la sala?

RESPUESTA: Ambas condiciones pueden producir una falta de aire o dificultad de su flujo a la sala de calderas y esto produciría una posible combustión incompleta en la caldera. Esto puede crear problemas con la relación aire/combustible, con el control del quemador y también crear un posible riesgo a la salud por la formación de monóxido de carbono de la combustión incompleta.

24. ¿Cuál es la potencia o producción de una caldera en libras (kg) por hora y BTU (kcal) por hora de una caldera tarada a 750 HP?

RESPUESTA:

Producción: $34,5 \times 750 \text{ HP} = 25.875 \text{ lbs/hora}$; $15,7 \times 750 = 11.775 \text{ kg/hora}$, o bien:
 Producción: $33.475 \text{ BTU/h} \times 750 \text{ HP} = 25.106.250 \text{ BTU/h}$;
 $8475,7 \text{ kcal/h/HP} \times 750 = 6.326.775 \text{ kcal/h}$

25. Calcular el rendimiento de caldera, utilizando el vapor generado *versus* el combustible consumido. Usted tendrá como datos que para un mes de calendario de trabajo regular el carbón consumido es de 682.000 libras (309.628 kilos) y el vapor generado es de 6,4 millones de libras (2,9056 millones de kilos) a 179 psig (12,53 kg/cm²) y sobre calentado a una temperatura total de 520 °F (271,1 °C). Suponga que el poder calorífico del carbón quemado es de 13.260 BTU/libra (7.360,2 kcal/kg) y que la temperatura del agua de alimentación es de 208 °F (97,8 °C).

RESPUESTA: Primero la evaporación real por libra de carbón quemado (o kg) es de:

$$\frac{6.400.000 \text{ lbs vapor}}{682.000 \text{ lbs carbón}} = 9,384 \text{ lb vapor/lb carbón} = 9,38 \text{ kg vapor/kg carbón}$$

Las tablas de vapor muestran que el calor total o entalpía de 1 libra de vapor a 194 psia (13,58 kg/cm²) es de 1.280,4 BTU/libra, o sea: 710,7 kcal/kg de vapor. Con el agua de alimentación a la temperatura de 208 °F (97,8 °C) su contenido de calor será de (por encima de 32 °F): $208 - 32 = 176 \text{ BTU/lb}$, o bien 97,7 kcal/kg. Así pues, el calor puesto en cada libra de vapor producido por la caldera será de:

$$1.280,4 \text{ BTU/lb} - 176 \text{ BTU/lb} = 1.104,4 \text{ BTU/lb}, \text{ o bien:}$$

$$710,7 \text{ kcal/kg} - 97,7 \text{ kcal/kg} = 613 \text{ kcal/kg.}$$

El calor dado a las 9,38 lbs vapor/kg carbón valdrá:

$$1.104,4 \text{ BTU/lb} \times 9,40 \text{ lbs/lb carbón} = 10.381,4 \text{ BTU/lb carbón}, \text{ o bien:}$$

$613 \text{ kcal/kg} \times 9,38 \text{ kg/kg carbón} = 5.762,2 \text{ kcal/kg de carbón}$. Así pues, la eficiencia o rendimiento será de:

$$10.381,4/13.260 = 78,3 \%, \text{ o bien: } 5.762,2/7.360,2 = 0,783 = 78,3 \%$$

26. (a) El agua de alimentación a 300°F se convierte en vapor sobrecalentado a 800 psia (56 kg/cm^2 absolutos) y 900°F ($482,2^\circ\text{C}$). ¿Cuántas BTU (o kcal) se necesitan para ello?
- (b) Si ésta fuera una caldera quemando carbón de 13.600 BTU/libra ($7.548,9 \text{ kcal/kg}$ carbón) de poder calorífico y con una evaporación de 9,4 libras de agua por libra de carbón, determine la eficiencia de caldera usando el método de entrada-salida energética.

RESPUESTA:

- (a) De la tabla de vapor sobrecalentado (Tabla 3, en la Fig. 1.5), la entalpía a 800 psia (56 atm) y 900°F ($482,2^\circ\text{C}$) es de 1.455,4 BTU/lb ($807,8 \text{ kcal/kg}$). De la Tabla 1, el líquido saturado a 300°F ($148,9^\circ\text{C}$) tiene 269,6 BTU/lb ($149,6 \text{ kcal/kg}$). El calor necesario para convertir al líquido en vapor sobrecalentado es:

$$(1.455,4 - 269,6) \text{ BTU/lb} = 1.185,8 \text{ BTU/lb} = 658,2 \text{ kcal/kg}$$

- (b) Producción de salida = $9,4 \text{ lbs H}_2\text{O} \times 1.185,8 \text{ BTU/lb H}_2\text{O} = 1.1146,5 \text{ BTU/kg}$;
el rendimiento será $n = 11.146,5/13.600 = 0,8196 = 81,96 \%$
 $658,2 \times 9,4 = 6.187 \text{ kcal/kg}$.

27. ¿Por qué una caldera no se drena o descarga mientras el hogar y pasos de humos están calientes?

RESPUESTA: Esto es necesario para evitar el recocido de los lodos sobre los tubos y otras superficies calefactoras y también para evitar las elevadas tensiones térmicas que se desarrollan por un enfriamiento demasiado rápido. Esto evitará fugas por las empaquetaduras de las juntas y extremos de los tubos y zonas similares afectadas por la dilatación y la contracción.

28. ¿Qué es un manómetro compuesto?

RESPUESTA: Un manómetro compuesto es un indicador de presión que señala presión en una mitad del dial, mientras que la otra mitad señala vacío. Se utiliza allí donde el sistema de calefacción puede variar de las condiciones de presión a las de vacío.

29. ¿Cuáles son las ventajas de convertir los controles e instrumentación de una caldera de tecnología analógica a digital?

RESPUESTA: La instrumentación y los controles basados en tecnología digital permiten un ajuste más fino de las variables de entrada y salida de caldera. Se alcanza un control más exacto de la eficiencia térmica al aproximar los puntos de consigna a los límites operativos de diseño. Se consigue una mejora de las emisiones por un control más preciso de los procesos de combustión tales como las relaciones aire/combustible y también de cualquier equipo de limpieza de proceso aguas abajo, si así está instalado, como en las plantas que queman carbón. Se requiere menos personal para manejar la planta porque la sala de control centralizado proporciona una pantalla de vídeo de las condiciones operativas para cada bucle del sistema de caldera. Señalización adecuada y alarmas, así como otros dispositivos pueden incorporarse al sistema de control, normalmente empleando tecnología informática adecuada.

30. ¿Cuáles son las posibilidades de diagnóstico incorporadas en los controles de caldera modernos?

RESPUESTA: Cualquier fabricante de calderas de capacidad moderada suministra muchos esquemas, como los de: funciones de entrada y salida de caldera en pantalla de vídeo con los que el operador puede comprobar cualquier variable a partir de los puntos de consigna por medio de un teclado de ordenador o de interface clave tipo «ratón»; asimismo, puede controlar el arranque u otro problema de funcionamiento mostrado en la pantalla de vídeo con explicación lógica y cómo poder solucionarlo. Situaciones típicas mostrados en las pantallas son: nivel de agua demasiado bajo, ventilador parado, presión de gas demasiado baja, caudales de aire para mostrar el aire requerido para el combustible que está siendo quemado. La pantalla de diagnóstico permite al operador corregir el problema en vez de iniciar una investigación para conocer las causas.

31. Diferencia entre ISO 9000, 9001, 9002, 9003 y 9004.

RESPUESTA: Las normas combinadas están diseñadas para establecer un sistema de gestión del control de calidad. Las normas ISO 9000 y 9004 definen los términos y proporcionan los elementos del sistema necesarios para cumplir la norma aplicable, mientras la 9001, 9002 y 9003 presentan los diversos modelos de actividades del sistema. La ISO 9001 especifica el aseguramientos de calidad en diseño, producción, instalación y servicio de un producto determinado. La ISO 9002 se aplica sólo a producción e instalación. La ISO 9003 se aplica a la inspección final y a las pruebas. Véase la Tabla 1.1 para más detalles sobre la serie ISO 9000 de normas.

32. Describa brevemente los requisitos del código ASME en la sección primera (calderas de potencia) para un programa de control para fabricación de calderas según la normativa.

RESPUESTA: El programa de control de calidad requerido al fabricante incluye:

1. Soporte de gestión nombrando un gerente de control de calidad para instalar el programa.
2. Una carta de organización mostrando cómo se aplica el control de calidad al diseño, selección de materiales, inspección, registro de documentación y las hojas de comprobación que se van a aplicar a cada etapa del ciclo de fabricación.
3. Provisiones para corregir defectos según reglas normalizadas.
4. Comprobación periódica de controles, equipo de pruebas NDT e instrumentos similares.
5. Planteamiento de formularios y datos de una marcha registrada del control de calidad para referencia futura.
6. Mantenimiento de registros de soldadores y procedimientos de soldadura y pruebas de calificación, así como registros de NDT y de tratamientos térmicos llevados a cabo.

33. ¿Qué sello o estampa se precisa en un montaje de caldera en campo cuando se hace el ensamblaje por un contratista y no por el fabricante de la caldera?

RESPUESTA: El contratista debe estar calificado por ASME para grabar la caldera con un sello «A».

34. ¿Por qué se arriostrian las superficies planas por encima de una cierta área o zona de arriostramiento o refuerzo en una caldera?

RESPUESTA: La acción de la presión sobre superficies planas que no son de espesor suficiente abombaría la chapa en forma esférica y posiblemente produciría una rotura. Los refuerzos o riostras sujetan las superficies planas y soportan el esfuerzo de la presión evitando el abombamiento de la superficie plana de chapa.

35. ¿Por qué deberían repararse las fugas de vapor en un sistema de caldera tan pronto como sea posible?

RESPUESTA: Todas las fugas deberían repararse inmediatamente para evitar roturas mayores y también para evitar daños físicos a las personas. La pérdida de vapor por las fugas es también energía que se pierde, lo que aumenta los costes de combustible de la planta.

36. ¿Qué riesgo puede crearse al abrir rápidamente una válvula de vapor?

RESPUESTA: El repentino cambio de presión puede producir el golpe de ariete, vibraciones e incluso rotura de tuberías por el cambio repentino de presión en zonas de transición como, por ejemplo, codos.

37. ¿Cuáles son las agencias de inspección autorizadas reconocidas por el código ASME de calderas?

RESPUESTA: El código designa como agencias de inspección autorizadas a aquellas organizaciones o agencias de inspección que empleen inspectores calificados mediante examen escrito bajo las normas de una jurisdicción (o autoridad) que puede ser estatal o de los municipios de los Estados Unidos o provincias de Canadá que han adoptado una o más secciones del código de calderas o de una compañía aseguradora autorizada para suscribir contratos de seguros de calderas y recipientes a presión en todas jurisdicciones respectivas.

38. ¿Qué adiestramiento adicional debe conseguir un inspector comisionado NB para merecer el endoso «A» para realizar inspecciones en taller de fabricantes según normativa NB?

RESPUESTA: El endoso «A» exige una realización con éxito de treinta horas de adiestramiento y de formación, además del comisionado NB, y un adicional de ochenta horas de adiestramiento supervisado en la materia y en el taller del fabricante.

39. ¿Qué requisitos de experiencia debe tener un individuo empleado regularmente por una agencia de inspección autorizada antes de serle permitido pasar el examen de dos días para un certificado de competencia NB como inspector comisionado de calderas y recipientes a presión?

RESPUESTA: Los requisitos actuales son: experiencia práctica en diseño, construcción, mantenimiento, operación o inspección de calderas de alta presión y recipientes a presión, y que debe constar de lo siguiente:

1. Grado ME*, más un año de experiencia práctica.
2. Otros grados de ingeniería más dos años de experiencia práctica.

* Ingeniería Mecánica.

3. Al menos una formación universitaria más 3 años de experiencia práctica.

Los candidatos deben también estudiar las siguientes secciones del código ASME: sección I: calderas de potencia; sección IV: calderas de calefacción; sección IX: cualificación de soldadura; sección V: examen de ensayos no destructivos, y el código de inspección del NB.

40. ¿Qué caldera de potencia se clasifica como caldera miniatura?

RESPUESTA: Una caldera de alta presión que no exceda ninguna de las siguientes medidas: diámetro interior de virola: 16" (406 mm); superficie de calefacción: 20 pies cuadrados (1,8 metros cuadrados); volumen de cámara a presión: 5 pies cúbicos (0,135 metros cúbicos); presión admisible de trabajo: 100 psig (7 atmósferas).

41. ¿Cuál es utilizada por el código ASME de calderas como presión máxima admisible: la presión manométrica o la presión absoluta?

RESPUESTA: El código ASME se refiere a la presión manométrica o presión por encima de la atmosférica en psi (o kg/cm^2), porque es la que se lee por el operario o usuario de la caldera (presión relativa).

42. ¿Cómo se convierte una sección del código ASME de calderas en requisito legal para una jurisdicción?

RESPUESTA: Normalmente un cuerpo legislativo de una jurisdicción establece aplicabilidad por mandato de la normativa del código en base a una sección, como la sección I, IV y VIII, o incluso partes de ellas, y esto se convierte en requisito legal para un lugar dentro de la jurisdicción. La maquinaria legal jurisdiccional refuerza y se pueden adoptar condiciones o exclusiones al código ASME por parte de todas jurisdicciones, tales como certificados estatales de derecho a funcionamiento y derechos estatales de inspección (con sus gravámenes económicos), que no están cubiertos por el código ASME.