

# Capítulo 10

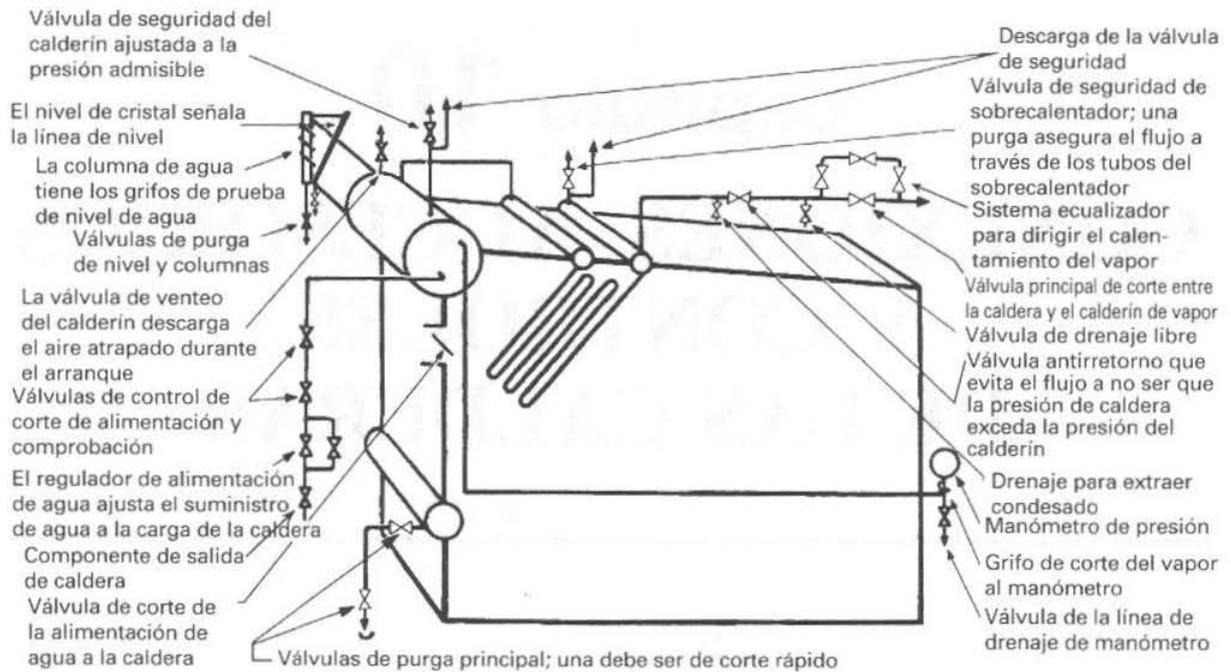
## CONEXIONES, ACCESORIOS Y CONTROLES DE LAS CALDERAS

---

La Figura 10.1 de la página siguiente ilustra los múltiples conexiones y accesorios que se requieren en una caldera de alta presión que puede conectarse a un colector principal de vapor. Todas las conexiones de tuberías y válvulas sirven para un propósito en la operación y mantenimiento, y la mayoría están regidas por la Sección I del código ASME (en Estados Unidos y el reglamento de calderas del Miner en España) por lo que respecta a tamaño e instalación. El Código requiere como mínimo: 1) un manómetro de presión, nivel de agua de vidrio, grifos de nivel, una válvula de corte en la línea de vapor y válvulas de corte y comprobación en la línea de alimentación de agua; 2) adicionalmente al mínimo antes citado, se necesitan las bombas de alimentación de caldera y/o inyectores de agua. Los cortes de combustible por bajo nivel de agua en las calderas alimentadas automáticamente se requieren ahora por la mayoría de las reglamentaciones. No sólo en las calderas de baja presión, sino también en las de alta presión. Los dispositivos de seguridad de la combustión están llegando a ser una necesidad imprescindible en calderas que queman fuel-oil en suspensión o gas natural. Estos temas se ven en capítulos posteriores. El término accesorio de caldera se aplica a válvulas, manómetros y otras conexiones o dispositivos que están conectados directamente a la caldera de forma que la unidad o unidades pueden operarse segura y eficientemente.

**Definiciones aplicables.** Véase también Apéndice 1, «Terminología y definiciones».

1. *Válvula de seguridad:* Evita que la presión de la caldera suba por encima del valor de ajuste librando de la presión del vapor excesiva y protegiendo contra los riesgos de la sobrepresión.
2. *Válvula de corte del suministro de vapor:* Es la válvula instalada en la salida de vapor de la caldera para cortar el flujo de vapor.
3. *Manómetro de presión de vapor:* Indica la presión de vapor en la caldera en libras por pulgada cuadrada o kilogramos por centímetro cuadrado.



**Figura 10.1.** Las conexiones y accesorios en una caldera de alta presión cumplen una importante función en la operación e inspección y la mayoría son requeridas por el código ASME. (Cortesía de *Power magazine*.)

4. *Sifón\* del manómetro de vapor:* Dispositivo instalado entre el manómetro de vapor y la caldera para dar un sellado de agua, de modo que el vapor vivo no entre en el manómetro produciendo una falsa lectura o daño al mismo.
5. *Conexión y grifo de inspección y prueba del manómetro:* Proporciona la conexión necesaria para comprobar la precisión del manómetro de presión de vapor de la caldera.
6. *Columna de agua:* Es el dispositivo en fundición o acero forjado hueco conectado a la parte superior de la cámara de vapor de la caldera y a la parte superior del espacio de agua. El nivel de agua de cristal y los grifos de prueba de agua están instalados en la columna.
7. *Nivel de agua de cristal y conexiones:* Sirven para mostrar el nivel de agua en la caldera.
8. *Grifos de prueba del nivel de agua:* Sirven para comprobar el nivel de agua en la caldera; cuando debiera estar fuera de servicio temporalmente el nivel de vidrio.
9. *Válvula de drenaje bajo la columna de agua y dispositivo de corte de combustible por bajo nivel de agua:* Proporciona un medio para nivelar diariamente bajo la columna de agua y controlar el nivel de agua para mantener limpias la cámara y líneas de modo que el agua se controle y certifique con precisión en el cristal. También proporciona un medio de probar el dispositivo de corte por bajo nivel de agua.

\* *N. del T.:* También conocido como «rabo de cerdo».

**Instrumentación recomendada.** Cualquier instalación se verá mejorada con el uso de instrumentos cuando el personal entrenado esté en condiciones de atender y hacer uso inteligente de los datos proporcionados. La instrumentación de las grandes calderas compactas debería incluir un aparato para obtener análisis de los gases de combustión y determinar el rendimiento de la combustión. Como mínimo, el código ASME de calderas recomienda para calderas de alta presión los siguientes instrumentos: 1) manómetro de presión de vapor; 2) manómetro de presión de la alimentación de agua; 3) manómetro del tiro de hogar; 4) manómetro de presión de salida del aire del ventilador de tiro forzado y de presión de ventilador de tiro inducido; 5) registrador de caudal de vapor para controlar la producción de caldera; 6) registrador de  $\text{CO}_2$  para comprobar la combustión; 7) registrador de temperatura de entrada y salida del sobrecalentador; 8) registradores de temperatura de entrada y salida de los calentadores de aire; 9) termómetros indicadores de la temperatura de entrada y salida del vapor de los recalentadores de caldera; 10) registradores de la temperatura de agua de alimentación para comprobar el grado de desaireación y operación del economizador; 11) manómetros de presión sobre los pulverizadores para comprobar la presión diferencial para las mezclas aire-combustible de los quemadores; 12) manómetros de presión para las calderas calentadas por fuel-oil y/o gas-oil sobre las líneas de combustible a los quemadores y termómetros antes y después de los precalentadores de combustible; y 13) manómetros para las calderas calentadas a gas natural sobre las líneas principales de gas a los quemadores y sobre los quemadores individuales.

**Presión y medición de la misma.** *Presión* es la fuerza unitaria impuesta sobre una unidad de área por un fluido líquido o gaseoso; esta fuerza también actúa sobre las paredes de un recipiente. En unidades inglesas se expresa en libras por pulgada cuadrada, psi, y en unidades españolas, en kilogramos por centímetro cuadrado. *Presión manométrica* es la presión indicada en los manómetros que miden la presión interna de los recipientes sometidos a presión. Es una presión que está por encima de la presión atmosférica circundante y que actúa sobre el recipiente por su zona o parte exterior (la atmosférica). *Presión absoluta* es la suma de la presión manométrica y la atmosférica. A nivel del mar con la presión atmosférica normal es de 14,696 psi ( $1,02872 \text{ kg/cm}^2$ ; 1.029 milibares) o de 1 atmósfera. También se ha definido como la columna de 760 mm de altura (29,92 pulgadas) de mercurio a  $32^\circ\text{F}$  ( $0^\circ\text{C}$ ). En el trabajo de laboratorio, que requiere de precisión, debe usarse un barómetro de columna de mercurio para obtener la altura exacta y el peso a diferentes temperaturas, porque el peso de la columna de mercurio en un barómetro también da la presión por unidad de superficie de la sección. A  $32^\circ\text{F}$  ( $0^\circ\text{C}$ ) el mercurio pesa 0,49 libras/pulgada ( $13,6 \text{ gramos/cm}^3$ ). Así, cada pulgada de mercurio de altura ejerce una presión de 0,49 psi ( $0,034 \text{ kg/cm}^2$ ).

Las presiones por debajo de la presión absoluta se definen como condiciones de vacío y se miden normalmente en pulgadas (o en centímetros) de mercurio.

---

**Ejemplo.** ¿Cuál es la presión absoluta sobre un tanque de aire cuando el manómetro marca 148 psi ( $10,4 \text{ kg/cm}^2$ ) y el barómetro indica 29,45" (74,8 cm) de mercurio?

**Solución.**

Presión atmosférica:  $29,45 \times 0,49 = 14,46$  psi (1,012 kg/cm<sup>2</sup>)

Presión absoluta:  $148 + 14,46 = 162,46$  psia (11'37 kg/cm<sup>2</sup>)  $\simeq 10,4$  kg/cm<sup>2</sup> + 1,012 kg/cm<sup>2</sup>

---

**Ejemplo.** Si el manómetro de vacío (vacuómetro) de un condensador marca 28,20" de mercurio y el barómetro indica 29,58" de mercurio, ¿cuál es la presión absoluta en el condensador?

**Solución.**

Presión absoluta (en pulgadas de mercurio):  $29,58 - 28,20 = 1,38''$  de Hg (3,5 cm de Hg).

Por tanto:

$$\text{Presión} = 1,38 \times 0,491 = 0,678 \text{ psia (0,0475 kg/cm}^2\text{)}$$

O bien:

$$3,5 \text{ cm de Hg} \times 13,62 \text{ grs/cm}^2 = 47,67 \text{ grs/cm}^2 = 0,0476 \text{ kg/cm}^2$$


---

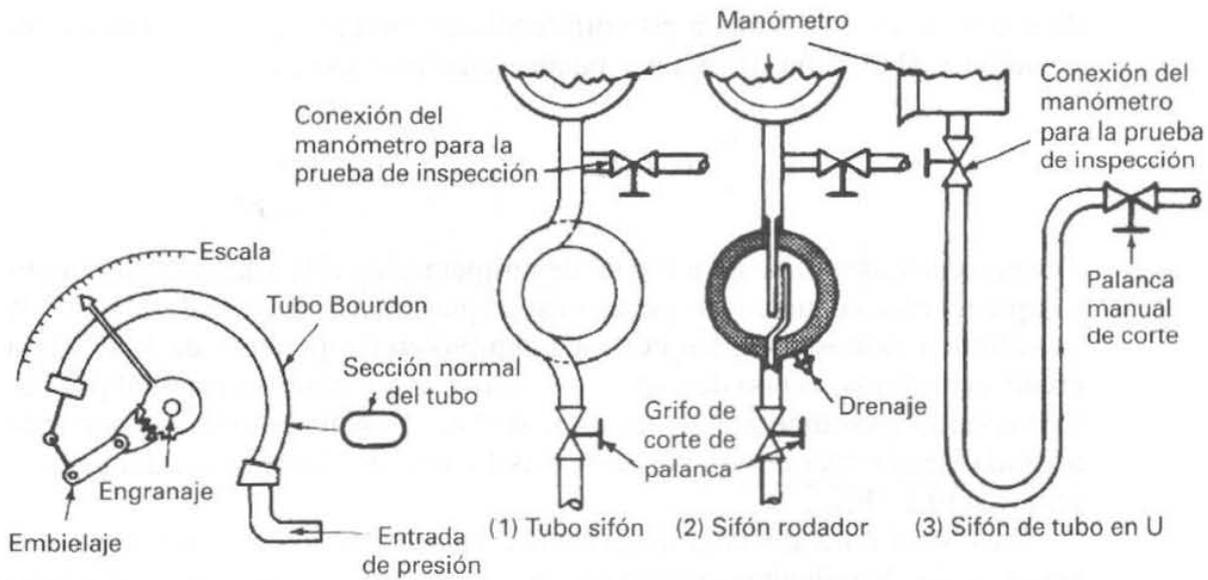
Los dos tipos principales de manómetros son el de tubo *Bourdon* y el de diafragma. La Figura 10.2a muestra el mecanismo interior del manómetro tubular de Bourdon sin el dial. El tubo curvado de sección ovalada está cerrado en un extremo y conectado por el otro a la presión de la caldera. El extremo cerrado está conectado mediante bieletas y ejes a un sector dentado, el cual a su vez mueve un pequeño piñón solidario con la aguja indicadora central. A medida que la presión aumenta en el interior del tubo oval, este tubo curvado intenta asumir la sección circular y tiende por ello a enderezarse longitudinalmente de su curvatura. Esta acción gira la aguja a través de las bieletas de unión que mueven el engranaje, produciendo el giro de la aguja indicadora y señalando así la presión en el dial graduación.

**Requerimientos del Código sobre manómetros.** La caldera debe tener al menos un manómetro de presión de un tamaño tal que sea fácilmente legible y que en todo momento indique la presión de la caldera. Una válvula o grifo debe colocarse en la conexión del manómetro a la caldera (Figura 10.2b) de modo que se pueda desconectar el manómetro y proceder a su reparación y/o sustitución. El manómetro debe estar conectado a la cámara de vapor, a la columna de agua o a su sistema de conexión al vapor. Para una caldera de vapor, el manómetro o su conexión debe tener un sifón para mantener un sello de agua\* para evitar que el vapor entre en el tubo oval del manómetro. La conexión de un manómetro debe tener un mínimo de 1/4" (6,4 milímetros) de diámetro interior.

Para temperaturas por encima de 406 °F (208 °C) no se deberá utilizar tubería de cobre ni de bronce. El dial del manómetro debería graduarse al doble del valor

---

\* *N. del T.*: Cierre hidráulico.



**Figura 10.2.** (a) Movimiento del manómetro de presión a vapor Bourdon. (b) Sifones utilizados en manómetros para protegerlos de la exposición directa al vapor a elevada temperatura.

ajustado en la válvula de seguridad, pero no a menos de 1,5 veces de ese valor de ajuste. Deberá instalarse en la caldera una válvula de conexión de al menos 1/4" de calibre de tubería, con el exclusivo propósito de conectar un manómetro de prueba o inspección para, cuando la caldera esté trabajando, poder comprobar la precisión del manómetro de caldera. Esta conexión o accesorio se conoce como conexión de inspección. El manómetro de la caldera debe estar iluminado y libre de todo reflejo o resplandor que pueda de alguna manera obstruir la visión del operario mientras esté viendo la indicación de presión. La aguja del manómetro deberá estar en posición vertical cuando indique la presión de trabajo normal. Esto atañe también a los demás manómetros de la sala de calderas que se utilizan como auxiliares. Los manómetros no deben estar inclinados hacia adelante y hacia abajo más de 30° de su vertical y ello sólo cuando sea necesario para una visión adecuada de la graduación del dial.

El sifón es simplemente un rabo de cerdo o lazo en la tubería del manómetro para condensar el vapor y así proteger el resorte y otras piezas delicadas de las altas temperaturas. En la Figura 10.2b se muestran tres modos o formas de hacerlo. Si hay peligro de heladas durante largas temporadas de corte o paro de actividades, el sifón debe eliminarse o purgarse.

**Temperatura y escalas.** La temperatura puede clasificarse en tres escalas:

1. *Fahrenheit:* En esta escala el punto de solidificación del agua es 32 °F y el punto de ebullición es 212 °F a la presión atmosférica. Como puede verse esto proporciona un abanico de 180° en la escala.
2. *Centígrado:* El sistema métrico decimal utiliza esta escala, con 100° de abanico entre el punto de congelación y el de ebullición del agua. La conversión

de una escala a otra implica esta diferencia en toda la separación entre congelación y ebullición del agua y puede calcularse usando:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 \quad ^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

3. *Temperatura absoluta:* Esta escala de temperatura deriva de los experimentos que revelaron que un gas perfecto se expande a una tasa de 1/491,7 de su volumen gaseoso original por cada cambio en temperatura de 1 °F. En la escala centígrada, la tasa de expansión es 1/273 del volumen original por °C. Reduciendo las temperaturas de varias sustancias se ha establecido que toda actividad molecular cesará por debajo del punto de congelación del agua, o sea a -459,7 °F.

La temperatura absoluta se denomina del «cero absoluto». Así, para convertir grados Fahrenheit o centígrados de temperatura a temperatura absoluta, use las siguientes ecuaciones: La temperatura absoluta en grados Fahrenheit es:

$$^{\circ}\text{F}_a = ^{\circ}\text{F} + 459,7$$

La temperatura absoluta en grados centígrados es:

$$^{\circ}\text{C}_a = ^{\circ}\text{C} + 273$$

**Ejemplo.** Cuál es la temperatura absoluta de una sustancia a -10 °F.

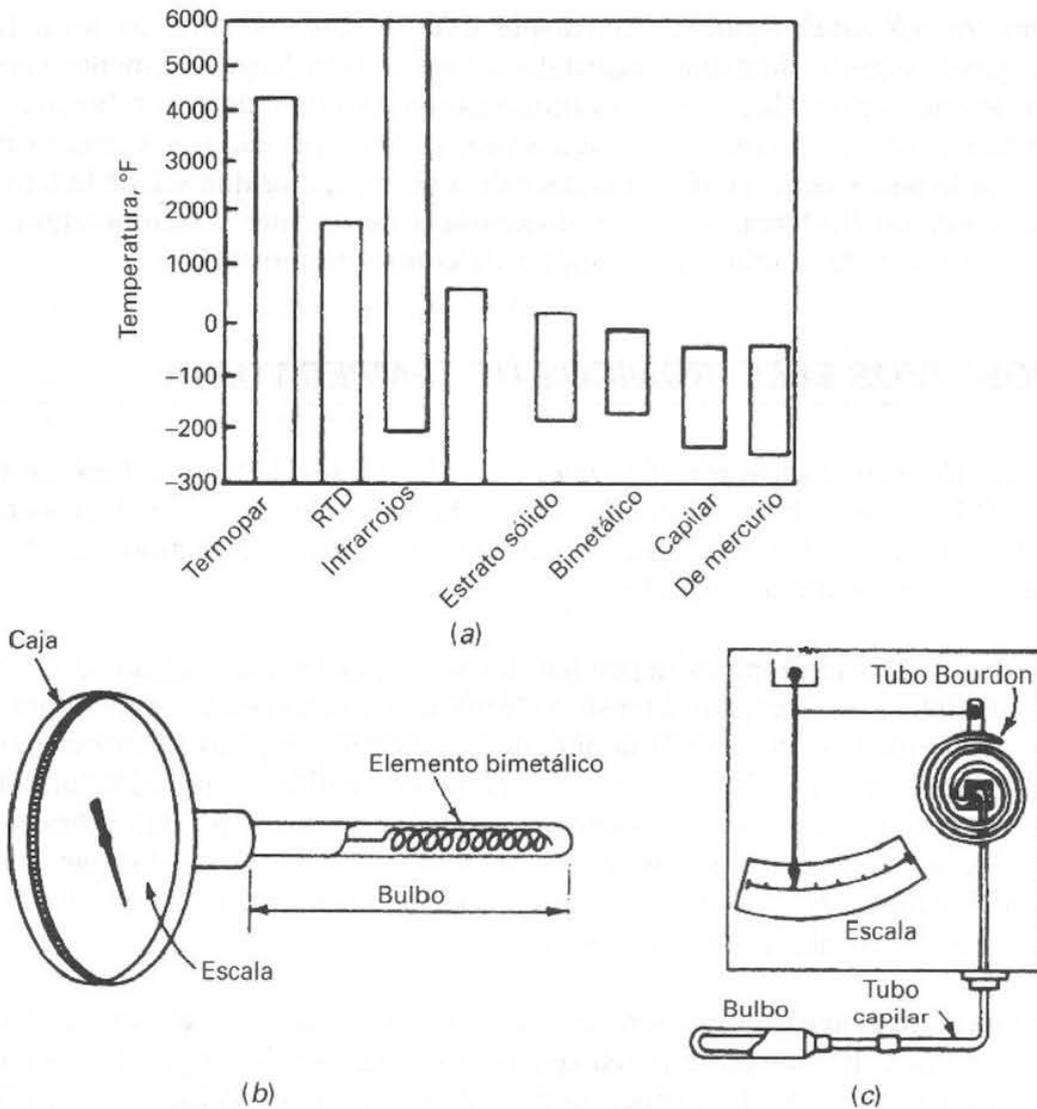
**Solución.**

$$^{\circ}\text{F}_s = -10 + 459,7 = 449,7 ^{\circ}\text{F}_a$$

La división de los dispositivos de medida de temperatura es en dispositivos mecánicos (termómetros bimetalicos y con relleno de líquido, tipo termómetro) y electrónicos (detectores de temperatura por resistencia, o RTD; termopares; termistores; semiconductores e instrumentos tipo infrarrojos sin contacto físico). Los dispositivos mecánicos de medida de temperatura son buenos para mostrar temperatura, pero no pueden transmitir señales y por ello no se utilizan con los sistemas de control electrónicos o digitales. Véase la Figura 10.3a para ver los rangos de trabajo de temperatura de los dispositivos de medida de temperatura. Esta figura también muestra un termómetro bimetalico (Fig. 10.3b) y un termómetro del sistema de relleno con líquido (Fig. 10.3c).

## **DISPOSITIVOS MECÁNICOS DE TEMPERATURA**

**Termómetros bimetalicos.** Si se calienta una tira de metal compuesto por dos metales distintos soldados o remachados conjuntamente, se dobla en la dirección del



**Figura 10.3.** Medida de temperatura. (a) Límites de temperatura para diferentes sensores de temperatura. (b) Termómetro bimetalítico. (c) Termómetro de gas o líquido. (Cortesía de Power magazine.)

metal con menor coeficiente de dilatación. La cantidad de flexión o combadura para una temperatura dada es repetible y puede utilizarse para indicar la temperatura, supuesto que se controla la pureza de los dos metales. Normalmente, la tira o banda está conformada o arrollada en espiral, y se une a una aguja fijada en un final de la cinta. El otro final es un punto fijo. A medida que la cinta dilata y se expande, la aguda indicadora señala la temperatura en una escala (Fig. 10.3b).

Los termómetros bimetalíticos son baratos y de una precisión moderada: normalmente de un 1 por 100 del final de escala para los modelos industriales. El límite superior de temperatura está alrededor de 1.000 °F (540 °C), pero normalmente el límite usual es de 260 °C (500 °F). A causa de la disposición de la escala es difícil de obtener una buena resolución, excepto para termómetros de rangos estrechos. En los modelos industriales los elementos están normalmente cerrados en un tubo, ya que en caso contrario, la corrosión puede degradar la cinta metálica.

**Termómetro relleno de líquido.** Los dispositivos de este tipo (Fig. 10.3c) se hacen con un gas o líquido dilatante encerrado en un recinto herméticamente cerrado. Cuando se aplica calor, la presión del fluido expandido induce al tubo en espiral a enderezarse, moviendo una aguja indicadora sobre una escala fija. Otras variantes usan el fluido para operar un pistón conectado a un indicador que señala la temperatura sobre una escala lineal. Este tipo no se usa para medidas de temperatura, pero puede utilizarse para operar un interruptor de control termostático.

## **DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE TEMPERATURA**

---

**Detectores de temperatura o resistencia.** Los detectores de temperatura por resistencia (o RTD) operan bajo el principio de que la resistencia de un conductor eléctrico cambia o varía con la temperatura. Se utiliza normalmente el platino a causa de su estabilidad a temperaturas elevadas.

**Termopares.** Los termopares dependen del principio de que cuando se unen dos metales distintos, se genera una tensión eléctrica que varía con la temperatura. Esta tensión puede medirse con ayuda de un circuito electrónico. Los termopares tienen una soldadura o «punto caliente», que es el punto de medida, y una soldadura «fría», que es el punto de referencia. Los sensores de los termopares pueden fabricarse en una gran variedad de configuraciones y tamaños y son muy utilizados para medida continua de temperatura de corrientes calientes. Son muy utilizados en calderas para controlar las temperaturas de los fluidos circulantes.

**Termistores.** Los termistores son resistencias que varían su resistencia eléctrica con los cambios de temperatura, así que son similares a los RTD. Esta cualidad puede utilizarse para medir temperaturas con un circuito eléctrico apropiado. El escaso avance de los termistores en comparación con los RTD y los termopares es debido a su más reducido campo operativo y al hecho de que el cambio de resistencia con la temperatura no es lineal.

## **DESARROLLO DE LA INSTRUMENTACIÓN**

---

Se ha experimentado un tremendo desarrollo en la utilización de sensores e instrumentación en las salas de calderas con el objetivo de mejorar el control y el funcionamiento automático y eficiente de las mismas. Entre los parámetros medidos y comprobados en las centrales están: pH, conductividad, oxígeno disuelto en agua, sílice, hidracina y el ión sodio con el fin de controlar la calidad de agua de la caldera. Cada circuito o bucle del sistema de caldera tiene sus propios sensores, instrumentación y necesidades de control. Un ejemplo es el analizador de gases de chimenea para control de emisiones, mostrado en la Figura 10.4a de la página 360. Estos instrumentos miden  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ . Con estas lecturas pueden efectuarse ajustes sobre la relación aire/combustible y otros ajustes si son necesarios para llevar los valores a los puntos de consigna de diseño.

Entre las magnitudes más controladas están el pH y la conductividad del agua. Éstas se miden ahora en puntos apropiados de la planta de calderas en base continua como resultado del desarrollo de la industria de instrumentación y sensores. La *conductividad* se utiliza para detectar el contenido de sólidos o sales en una disolución o agua de caldera, y el instrumento se basa en determinar la corriente eléctrica a través de los puntos o zonas de ajuste y relacionarla con el contenido de sólidos o sales de la solución. Véase la Figura 10.4b de la página siguiente.

El *pH* de una solución es la medida de la concentración de iones de hidrógeno, y está relacionada con la acidez o alcalinidad de la solución, siendo siete el valor del punto neutro en una escala de 0 a 14. Los valores por debajo de 7 indican unas condiciones de acidez, mientras los valores por encima son alcalinos. Véase la Figura 10.4c. El instrumento está basado en el potencial electromecánico en la superficie de electrodos de vidrio\*. Las lecturas se usan para analizar los resultados del tratamiento del agua.

El crecimiento de la instrumentación y control ha sido acelerado también por la evolución de la tecnología de los semiconductores o tecnología de los «chips» de ordenador, corrientemente conocidos como microprocesadores. Este crecimiento de los microprocesadores ha dado como resultado el incremento de la instrumentación avanzada y de los controles de acompañamiento para alcanzar y conseguir el funcionamiento automático, y también obtener las siguientes ventajas:

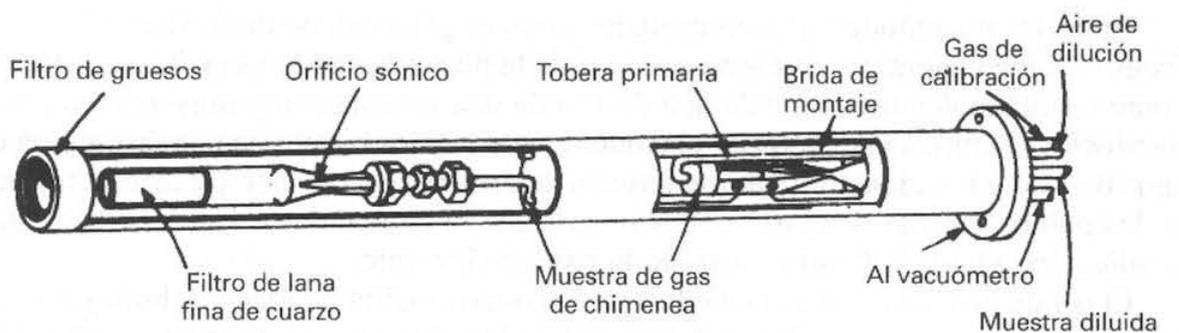
1. Mediante los procesos de arranque y parada por ordenador, el equipo de potencia de la planta puede ponerse en marcha y pararse más rápidamente.
2. Por la lógica de datos y tendencias de las lecturas, es posible la detección de mal funcionamiento y el operario puede realizar acciones correctoras.
3. Mediante un ajuste más cerrado de los límites de trabajo con respecto a los de diseño, puede conseguirse una mayor eficiencia o rendimiento térmico.
4. Puede mejorarse el control de las emisiones con un control más estrecho de las relaciones aire/combustible y de otros factores que controlan la combustión.

Reconocida esta tendencia hacia un funcionamiento más automático, ello reduce el seguimiento de personal de control en centrales térmicas y plantas de generación. Así, el nivel de preparación debe aumentar a medida que se necesita menos personal en una planta moderna. Los operarios deben estudiar las muchas características de automatismo que están siendo incorporadas a la instrumentación y control de una planta de calderas moderna.

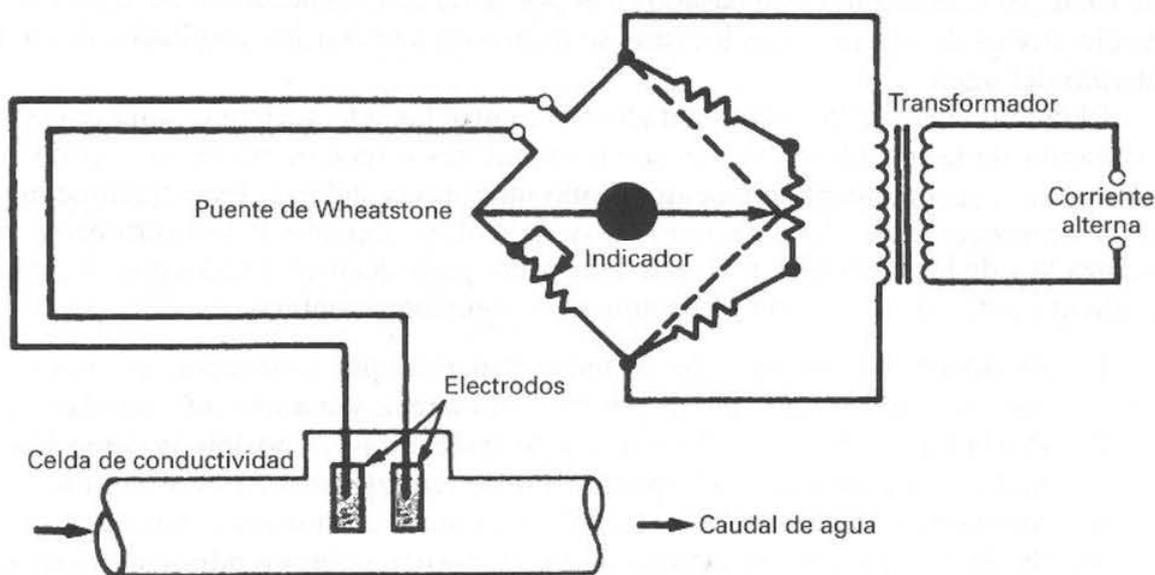
Sin embargo, hay ciertos requisitos del Código sobre válvulas, conexiones y accesorios de seguridad que todavía son exigidos por las autoridades para mantener la buena marcha por razones de seguridad.

**Calibrado y control de la instrumentación.** El incremento en instrumentación y controles exige ahora a los técnicos probar y calibrar periódicamente la instrumentación sobre una norma de referencia que permita situar las desviaciones permisibles establecidas como guía para el rango de calibración. Normalmente se graban placas

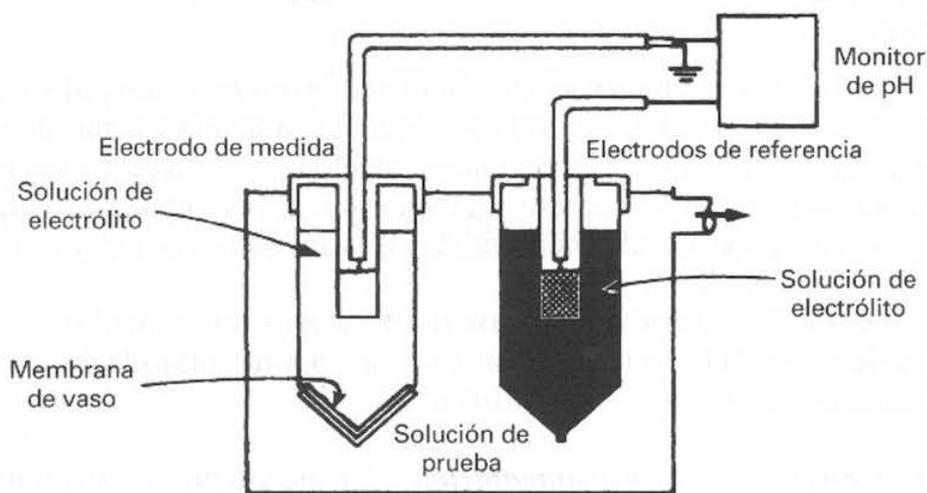
\* *N. del T.*: Potencial de electrodo.



(a)



(b)



(c)

**Figura 10.4.** (a) Probeta de muestreo en chimenea para tomar y acondicionar  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  de las fases de escape de chimenea. Éstos son transportados a los analizadores remotos y cuadros de control. (b) Circuito eléctrico para medida de la conductividad eléctrica de las soluciones con sales y sólidos disueltos. (c) Monitor de pH.

para mostrar la fecha de recalibración y la próxima fecha en que se debe volver a hacerlo. Las plantas grandes tienen personal especializado en calibrado de instrumentos, mientras que las menores, con menos instrumentación, pueden esperar que un operario de las organizaciones de servicio de instrumentación desarrolle esta tarea especializada o la realice con ayuda de los servicios de las marcas de los aparatos e instrumentos.

## **COLUMNAS DE AGUA, NIVELES DE CRISTAL Y GRIFOS DE MANÓMETROS**

---

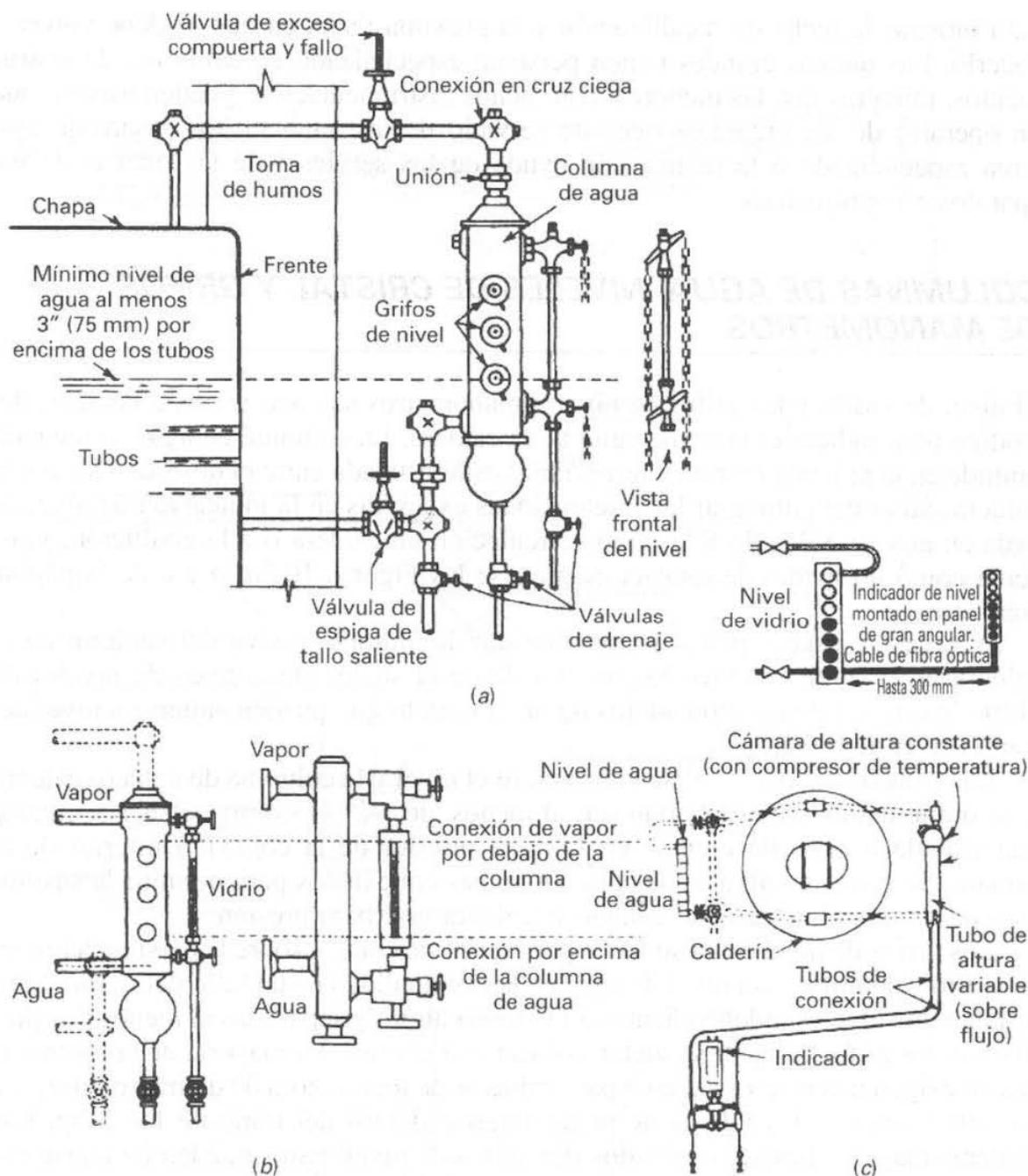
El nivel de vidrio y los grifos de nivel y manómetros son accesorios esenciales del Código para indicar el nivel de agua de la caldera. La columna de agua (a menudo omitida en la práctica marina y ferroviaria) está instalada entre el nivel de vidrio y la caldera. Sirve para eliminar las fluctuaciones excesivas en la indicación de nivel de agua en el vidrio debido a la rápida circulación en caldera o a la ebullición, y así actúa como un medio de relajación. Véanse las Figuras 10.5a, b y c de la página siguiente.

A veces se usan espejos, a causa de que la altura excesiva del calderín de la caldera no permite ver bien los niveles desde el suelo. Otros tipos de niveles de vidrio hacen uso de los indicadores de nivel remoto que pueden situarse a nivel del suelo (nivel de trabajo).

Las conexiones del nivel de vidrio entre el nivel y la columna de agua (o caldera si se omite la columna) deberían ser, al menos, de 1/2" (13 mm) y debería situarse una válvula o grifo de drenaje en la parte inferior de la conexión inferior de la cámara. Se instalan válvulas de corte en ambas conexiones para permitir la sustitución de un cristal defectuoso cuando la caldera esté bajo presión.

Los grifos de nivel están situados para servir de control sobre la presión del nivel de vidrio y determinar el nivel de agua en la eventualidad de un fallo del vidrio. Si se instalan dos niveles independientes a la misma altura y separados al menos dos pies (0,6 m), los grifos de nivel se suelen colocar con el nivel. La mayoría de las normativas no exigen dos niveles excepto para calderas de locomotora de diámetro inferior a 36" (914 mm) o en calderas de hogar interior dentro del ramo de los 5 hp. Las calderas mayores llevan conectados tres grifos de nivel. Éstos pueden montarse sobre la columna de agua o directamente en la caldera y están espaciados por igual dentro del espacio visible del nivel de vidrio.

El material de la columna de agua es normalmente fundición hasta 250 psi (17,5 kg/cm<sup>2</sup>). El código ASME especifica que el hierro maleable puede utilizarse hasta 350 psi (24,5 kg/cm<sup>2</sup>) pero se requiere acero para presiones mayores. Las tuberías de conexión de la columna de agua a la caldera deberían ser, al menos, de 1" (25,4 mm) de diámetro. El tubo de cobre para conexiones inferiores es lo más utilizado hasta aproximadamente 150 psi (10,5 kg/cm<sup>2</sup>). Cuando se precisa una curva o codo en la conexión inferior, se utilizan los manguitos en cruz a noventa grados en vez de los codos a noventa grados. Los dos orificios que no se utilizan deberán ser tapados con machones y éstos deberán desmontarse en cada revisión o inspección anual del interior (más de una si es preciso) para ver los tubos de unión y limpiarse si es necesario.



**Figura 10.5.** (a) Columna de agua y nivel de cristal conectados a una antigua caldera de tubos de humos, con válvulas de sobrenivel y fallo que debe sellarse o cerrarse cuando la caldera está trabajando. (b) La conexión de la columna de agua tiene válvulas sólo para conexión del nivel. Nótese que se requiere una situación de parte alta y baja del nivel de vidrio. (c) Los indicadores de nivel remotos permiten al operador comprobar el nivel de agua fuera del lugar de situación de la conexión de la columna a la virola o calderín de la caldera.

Es necesario drenaje en la columna de agua tanto en la parte superior como en la inferior (sobre todo en la parte más baja de la inferior). Una válvula de drenaje de 3/4" (20 mm) o mayor y de compuerta se utiliza para eliminar los sedimentos. Debe-

rá usarse una válvula de esfera en el lado de no presión de la válvula de compuerta para mayor hermeticidad si se desea. La utilización de la válvula de compuerta permite el uso de un alambre para limpiar una válvula obstruida sin parar la caldera ni dejarla fuera de servicio.

La conexión de vapor debería tener inclinación hacia la columna y la conexión de agua hacia la caldera, de modo que una falsa indicación de nivel no se señale por medio del agua atrapada en la columna cuando el nivel de agua está declinando. Nivelar una columna de agua o un nivel de vidrio es importante. El punto más bajo visible en el nivel de vidrio debería estar, al menos, 2" (50 mm) sobre el punto más alto de los tubos o chapa de la bóveda del hogar. Para las calderas de hogar horizontal interior y tubos de humos, eso está 3" (75 mm) por encima del punto más elevado de los tubos de humos o de la chapa de la bóveda. Para calderas de locomotora por debajo de 36" (914 mm) de diámetro, está a 2" (50,4 mm) por encima del punto más elevado de la chapa de la bóveda del hogar, y para calderas de más de 36" (914 mm) de diámetro, está a 3" (75 mm). Para calderas verticales de tubos de humos (VT) del tipo de tubos sumergidos, está a 2" (50 mm) por encima de la placa tubular superior. Para las calderas verticales del tipo seco, está a 1/3 de la altura de los tubos. En la mayoría de los tipos normales de calderas tubulares, está al menos 2" (50 mm) por encima del nivel mínimo permisible de agua.

Como se especifica y determina por el fabricante de la caldera, las válvulas no son absolutamente esenciales en las conexiones de vapor y agua de la columna de agua (véase la Figura 10.5b) pero, si se utilizan, deben ser de tornillo y asiento cónico (véase la Figura 10.5a), válvulas de compuerta y palanca, grifos de corte con palanca u otro tipo de válvulas que ofrezcan un paso recto y libre y señalen la posición del mecanismo operativo tanto en posición abierta como cerrada. Cierre estas válvulas o grifos abiertos o compruebe que están precintadas o cerrados, como requiere el Código.

El nivel de agua del vidrio con sus válvulas de vapor, agua y drenaje está colocado sobre la columna de agua como se ha mostrado, y con el número requerido de grifos de nivel. Los reguladores de compuerta, reguladores de agua de alimentación, manómetros de vapor y otras piezas de aparatos, que no requieren o permiten el escape de cantidad apreciable de vapor o agua, deben conectarse a unas tuberías que van de la columna de agua a la caldera.

**Calderas trabajando a 400 psi (28 kg/cm<sup>2</sup>) y más.** El código ASME sobre conexiones de niveles de vidrio para calderas de alta presión exige que cada caldera tenga, al menos, un nivel de agua de vidrio, excepto las calderas que trabajen a más de 400 psi (28 kg/cm<sup>2</sup>), las cuales deben tener dos niveles de agua de vidrio conectados a una única columna de agua o directamente al calderín de la caldera. Para calderas de gran potencia con todas las válvulas de seguridad de los calderines ajustadas por encima de 400 psi (28 kg/cm<sup>2</sup>), pueden utilizarse dos indicadores de nivel remotos independientes en vez de uno de los dos niveles de vidrio para indicación del nivel de agua en el calderín de la caldera. Cuando ambos indicadores de nivel remoto están funcionando con fiabilidad, uno de los niveles de agua de vidrio puede cerrarse, pero debe mantenerse en condiciones de servicio. Cuando la lectura directa del nivel de agua de vidrio no es fácilmente visible para el operario en su área de trabajo, deben suministrarse dos indicaciones indirectas fiables, bien por transmisión del nivel de vidrio o bien por medio de indicadores de nivel remotos.

La Figura 10.5c muestra un indicador de nivel remoto típico de alta presión. Se monta sobre el panel de instrumentación de la sala de calderas o en algún otro lugar conveniente para la visión del operario del nivel de agua. El indicador está conectado a los accesorios sobre el calderín de la caldera mediante dos pequeños tubos. Los cambios en el nivel de agua de la caldera producen el correspondiente cambio en la presión estática en uno de estos tubos; la altura estática en el otro tubo permanece constante. Las variaciones en la presión diferencial en el indicador causan movimientos de la manecilla del indicador que con precisión indica el nivel de agua. El indicador está operado por el agua de la misma caldera, utilizando la presión diferencial entre una altura constante de agua y la altura variable en el calderín de la caldera. Por medio de un mecanismo de diafragma operado, con el lado del diafragma conectado a los niveles alto y bajo por la conexión del tubo, el nivel de agua se muestra en una escala graduada sobre el instrumento.

Los desarrollos sobre indicadores remotos incluyen la utilización de visores de vidrio verde para el agua y rojos para el vapor, mostrando a través de puertas o ventanas el nivel de agua. Por medio de cable de fibra óptica, la visualización remota es posible sobre el tipo de nivel con segundo orificio. La transmisión de más de 100 pies (300 m) es posible con cable de fibra óptica (véase la Figura 10.5c).

## **VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

---

La norma ANSI B95.1 tiene una gran lista de terminología relativa a válvulas de seguridad. Éste es el dispositivo de seguridad más importante sobre una caldera, y puede ser la última defensa contra una explosión por sobrepresión. Unas pocas definiciones sobre este importante dispositivo ayudarán a diferenciar los tipos que hay disponibles:

Un *dispositivo de alivio de presión* está diseñado para aliviar la presión o abrir para evitar una subida interna de presión de una vasija o recipiente cerrado con presión excesiva sobre la admisible de trabajo.

Una *válvula de alivio de presión* está actuada por la presión interior que tiene un ascenso graduado proporcional al incremento de presión y se utiliza principalmente para evitar sobrepresión en el servicio de líquidos.

Una *válvula de seguridad* es un dispositivo de alivio de presión actuado por la presión ajustada pero caracterizado por una acción de apertura rápida, para trabajar y rebajar presión inmediatamente, al dejar escapar vapor de un recipiente cerrado. Puede también utilizarse para servicio de alivio de la presión de aire.

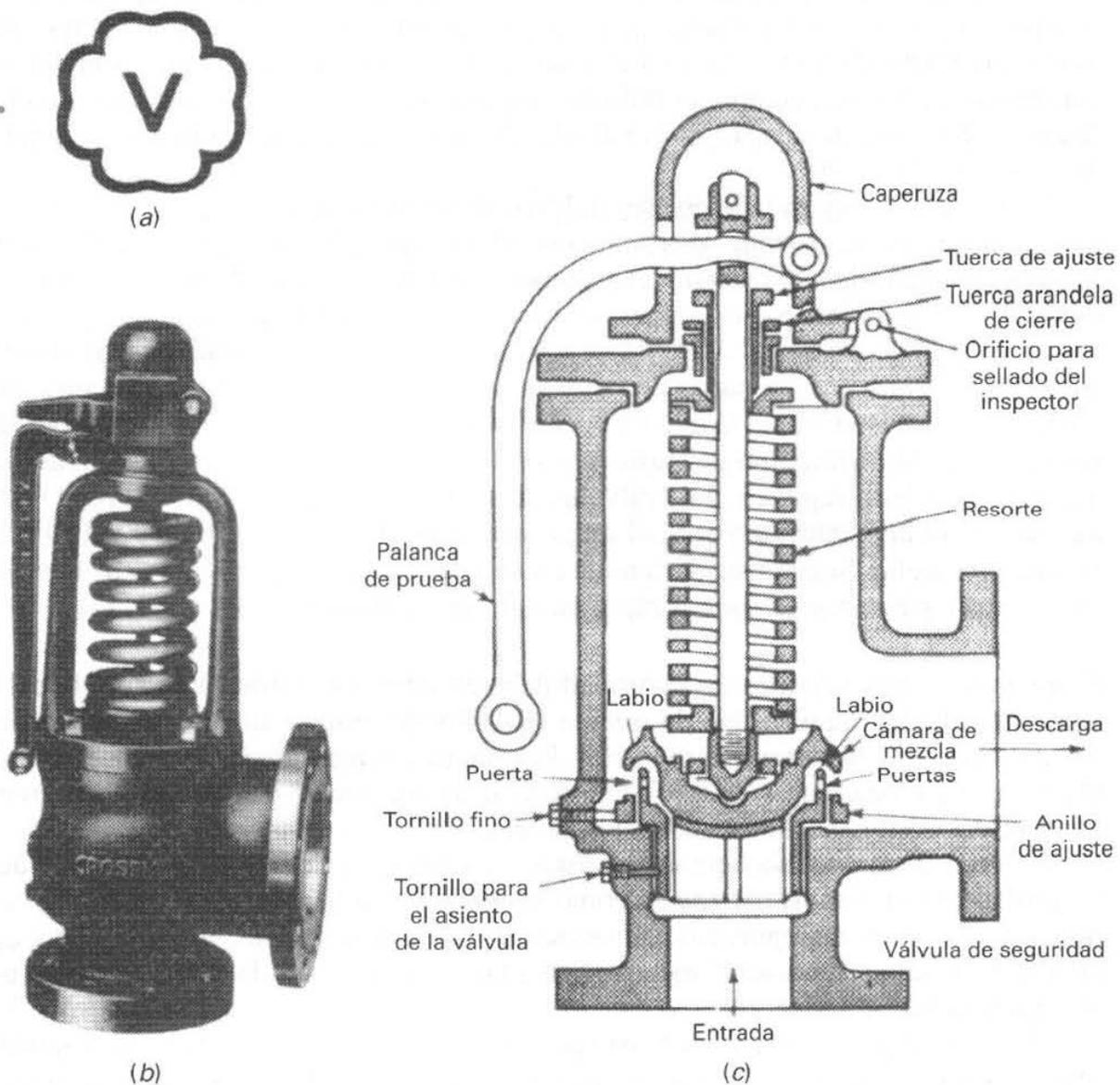
Una *válvula de alivio de presión pilotada por presión* es un dispositivo de alivio donde el dispositivo principal está actuado y controlado por un «disparador» auxiliar auto-operado de la válvula de alivio de presión.

Hay muchos requerimientos en el Código sobre este importante dispositivo de seguridad.

**Construcción de la válvula de seguridad.** Es de suma importancia que una válvula de seguridad esté correctamente construida. Tal construcción puede asegurarse especificando que debe estar conforme al código ASME o National Board, aprobada y registrada, siendo su funcionamiento de disparo por muelle directo cargado a resor-

te, y adecuadamente marcada o calibrada tanto en posición como en caudal o capacidad de evacuación y equipada con una palanca de prueba. El ajuste de presión debe corresponder bien a la presión máxima admisible para la que se diseñó la caldera o, en calderas viejas, la máxima presión permitida por la ley del estado. La capacidad de la válvula de seguridad debería ser, al menos, igual al vapor máximo que puede generarse por la caldera. Una válvula de seguridad según el código ASME lleva la siguiente información inscrita en el cuerpo de la válvula o placa nominativa (véase la Figura 10.6a):

- Nombre del fabricante o marca registrada comercial.
- Tipo de fabricante o número de diseño.



**Figura 10.6.** Válvulas de seguridad de disparo a resorte. (a) Símbolo ASME de válvula de seguridad aprobada (válida). (b) La válvula de seguridad para vapor sobrecalentado tiene el muelle expuesto. (Cortesía de Válvula y manómetros Crosby.) (c) La cámara de agrupación suministra espacio a la acción de disparo a la válvula de seguridad.

- Tamaño, pulgadas.
- Diámetro del asiento, pulgadas.
- Presión a la que la válvula está ajustada para disparar, psi o  $\text{kg/cm}^2$ .
- Venteo, psi o  $\text{kg/cm}^2$ .
- Capacidad de descarga, lb/hr o kg/hr.
- Capacidad de palanca, pulgadas o milímetros.
- Símbolo del código ASME (en Estados Unidos).

Cuando una válvula de seguridad lleva el sello de ASME o National Board, es la garantía del fabricante de que las reglas y normas del código ASME han sido cumplidas en la construcción del producto.

Brevemente, los requisitos constructivos más importantes son que el disco y el asiento sean de material anticorrosivo y que el asiento esté abrochado al cuerpo de modo que no pueda levantarse con el disco de la válvula. Todas las piezas deberán construirse de forma que ningún fallo de ninguna pieza pueda interferir o disminuir la capacidad plena de disparo de la válvula. El asiento debe estar inclinado en algún ángulo entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ .

La válvula de seguridad debe ser del tipo de resorte cargado directo. El Código establece que no se permite la instalación de los tipos de contrapeso y palanca o válvulas de seguridad de peso muerto, porque el ajuste de tales válvulas es demasiado fácil de manipular. Su uso no es recomendable en modo alguno.

La válvula de seguridad a resorte es normalmente de forma cilíndrica o cuadrada para tener un máximo de paso entre sus piezas (del resorte). Si el resorte entra en contacto en sus espiras, la válvula no puede hacer fuerza. Es por ello principalmente por lo que el rango máximo de ajuste permitido con resortes es del 10 por 100 de su ajuste tarado. Esta regla es para válvulas de seguridad taradas hasta 250 psi ( $17,5 \text{ kg/cm}^2$ ). Para presiones mayores, el rango admisible del ajuste es del 5 por 100 del tarado del muelle. Si el ajuste se cambia en una desviación mayor, deberá instalarse un resorte y placa nuevos por el representante del fabricante.

**Conexiones.** Las válvulas de seguridad deberán conectarse directamente a la caldera sin válvulas intermedias de ningún tipo. Pueden usarse uniones roscadas de hasta incluso 3" (76,2 mm) de diámetro. Para calderas que trabajen a más de 15 psi ( $1,05 \text{ kg/cm}^2$ ) todas las válvulas de seguridad de más de 3" de diámetro deberán tener bridas como sistema de conexión de entrada.

Es importante que la tobera de apertura a la tubería de descarga de la válvula de seguridad sea, al menos, tan grande como la conexión de la válvula de seguridad. Si dos o más válvulas de seguridad se conectan a una tubería común o acoplamiento, el área de la misma deberá ser al menos igual a las áreas sumadas de todas las válvulas de seguridad conectadas.

Una palanca de levantamiento se precisa para levantar o abrir la válvula dejando libre el asiento cuando exista un 75 por 100 de la presión de disparo en la caldera. No están permitidas las palancas que puedan bloquear la válvula en la posición levantada.

La presión de retrosoplado o presión de purga es el número de libras por pulgada cuadrada ( $\text{kg/cm}^2$ ) de pérdida de carga o caída de la presión de caldera a partir del cual la válvula de seguridad se dispara hasta el punto en que vuelve a cerrarse. Para

presiones de hasta 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>) de la presión de disparo, la presión de retrosoplado no será mayor del 4 por 100 ni menor de dos libras (1 kg/cm<sup>2</sup>). Las presiones mayores necesitan una retropresión del 2 por 100 de la presión de disparo. Las válvulas de seguridad utilizadas en calderas de circulación forzada del tipo de circuito único en serie pueden ajustarse para cerrar después de un retrosoplado no mayor del 10 por 100 de la presión de ajuste de las válvulas. Las válvulas para este uso especial deberán ser ajustadas y marcadas, y el ajuste de soplado deberá realizarse y contrastarse por el fabricante. Un soplado menor puede dar lugar a una acción destructiva por vibración (cierre y apertura rápida). Un soplado demasiado grande despilfarra vapor y combustible. Aunque el Código no dice nada respecto al soplado máximo, es una buena práctica ajustarse al mínimo permitido.

El código ASME especifica que el soplado debe ser ajustado y sellado por el fabricante o por su representante autorizado. El ajuste se efectúa mediante el anillo de soplado o de ajuste, en las válvulas del tipo mostrado en la Figura 10.6c. Se quita el tornillo de acceso al anillo de ajuste y, con una herramienta puntiaguda o destornillador, se gira el anillo parte de una vuelta de su rosca. Esto sube o baja el anillo cambiando el área de la cámara de mezcla.

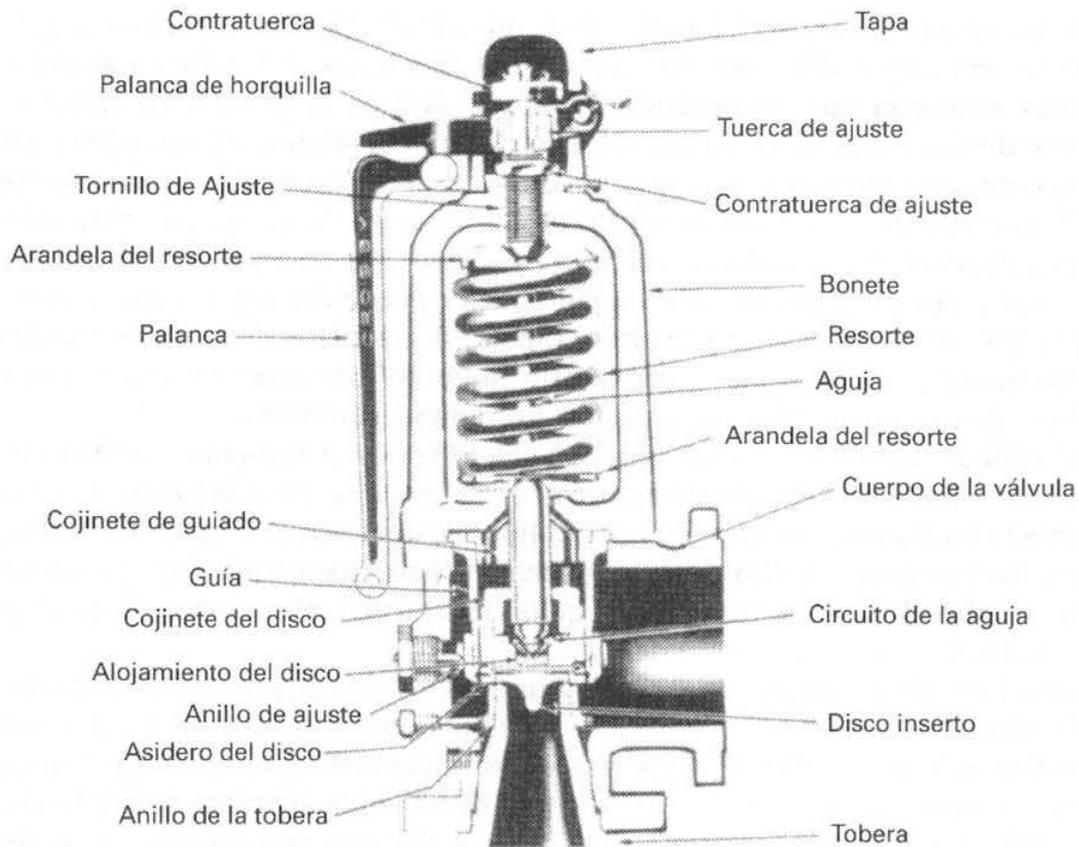
La acción de la cámara de mezcla y del anillo de retrosoplado es exponer una mayor área al vapor de escape cuando la válvula abre ligeramente. La presión del vapor actuando sobre un área mayor proporciona una mayor presión total de levantamiento en contra del resorte, lo que da como resultado la apertura de la válvula con una descarga, por la acción de corte consiguiente del vapor (conocida como «ahogamiento del vapor») que se produce en la válvula y asiento por la lenta apertura que así puede eliminarse.

La tobera de salida tipo válvula *Crosby* (Figura 10.7 de la página siguiente) actúa según el principio del anillo de soplado. Cuando la válvula primero se eleva por el empuje, el vapor actúa sobre el anillo de ajuste y éste se flexiona hacia abajo. La reacción del caudal de vapor vertido obliga a la válvula a abrir de golpe. Este tipo de fabricación produce un empuje y una capacidad de descarga elevados.

**Descarga de la válvula de seguridad.** Deberán usarse tuberías de descarga si la descarga está situada donde los trabajadores pueden sufrir un escaldamiento por el vapor. Una tubería de descarga apropiada es tan esencial para la seguridad de los trabajadores de la planta como la válvula de seguridad lo es para la seguridad de la caldera. Muy a menudo un operario suele abrir una válvula de corte mientras la válvula de seguridad está descargando, sin tener tubería de descarga, y apuntando directamente al personal. Situarse en la trayectoria del chorro de vapor de escape de 3 ó 4" (75 ó 100 mm) de diámetro, normalmente suele ser fatal.

Cada tubo de descarga debería tener al menos una altura de seis pies (1,8 m). Si el local imposibilita terminar el tubo de descarga dentro de una distancia del techo razonable y segura, deberá prolongarse fuera del tejado o de la pared limitante del edificio. Si se trata de un tejado plano donde debajo hay operarios, el tubo de descarga deberá prolongarse, al menos, seis pies (1,8 m) por encima. Si es más práctica una tubería de descarga horizontal, debería descargar sobre un lugar seguro.

Es esencial que el diámetro de la tubería de descarga sea, al menos, igual al de salida de la válvula de seguridad. Si se necesita una longitud de más de doce pies (3,6 m) es mejor utilizar un diámetro superior en 1/2" por cada doce pies (3,6 m) de



**Figura 10.7.** Vista en corte de una válvula de seguridad de guía superior, tipo de reacción total de la tobera para temperaturas de vapor hasta 1.200 °F (650 °C).  
(Cortesía de Válvulas y manómetros Crosby.)

longitud. Una línea más larga sin diámetro aumentado producirá un retroceso de presión por causa de la pérdida de carga por rozamiento en la estrecha tubería, y podría producir una vibración seria en la válvula de seguridad. Asimismo, todo codo o curva a 90° debería evitarse, si ello es posible.

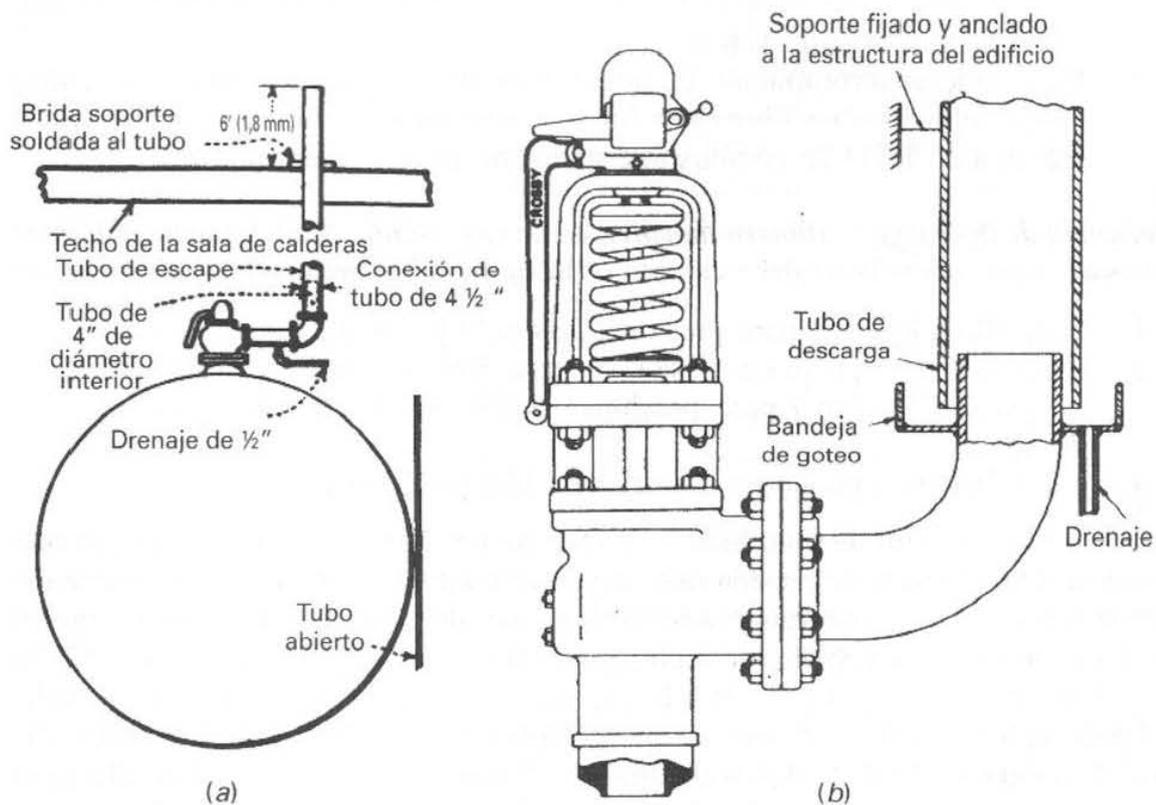
La tubería de descarga debería soportarse independientemente de la válvula de seguridad. El peso de una tubería de descarga de vapor, si se hace trabajar sobre la brida de la válvula de seguridad, puede producir tensiones serias que se asentarán en la brida y cuerpo de la válvula de seguridad y en su conexión o brida, o incluso en la tobera y brida de unión de la válvula con la caldera.

Después de que una válvula de seguridad ha soplado muchas veces, no es inusual que se produzca una pequeña fuga o pérdida. La condensación de esta fuga puede llenar gradualmente una tubería de escape no drenada (con el agua de condensación). Esta condición puede provocar que la válvula no sople a su presión de tarado. El punto de descarga debe incrementarse 1 libra (0,45 kg) por cada 2 ó 3 pies (0,6 ó 0,9 m) de altura del agua en el tubo de descarga. También, en un tubo de descarga al exterior expuesto a temperaturas invernales severas, puede formarse hielo e interferir seriamente con la operación correcta y segura de la válvula de seguridad. Toda tubería de descarga debería tener un drenaje abierto de 3/8 ó 1/2" (10 ó 13 mm) de diámetro en su punto más bajo. Este drenaje debería conducirse fuera de la parte

superior de la caldera para evitar corrosión exterior producida por la humedad. La Figura 10.8 muestra una válvula de seguridad instalada correctamente.

**Capacidad de descarga.** El número y la capacidad de las válvulas de seguridad requeridas en la caldera están regidos por el Código de calderas. Deben seguirse las siguientes reglas:

1. La capacidad o caudal de una válvula de seguridad de caldera debe ser tal que la válvula (o válvulas) de seguridad descargará todo el vapor que pueda generarse por la caldera (se supone que a la máxima capacidad de combustible) sin permitir que la presión suba más de un 6 por 100 por encima de la presión máxima a la que la válvula está tarada, y en ningún caso más del 6 por 100 por encima de la presión máxima admisible.
2. El fabricante de la caldera está obligado por el Código a estampar la placa y también a mostrar en la relación maestra de datos cuál es la capacidad máxima de diseño de vaporización de la caldera. Las antiguas reglas mínimas de las válvulas de seguridad basadas en la superficie calefactora y el combustible quemado, como se muestra en la Figura 10.9 de la página siguiente, están ahora colocadas en los párrafos del apéndice no obligatorio de la Sección I del código ASME y pueden usarse como guía de conducta si la placa o chapa no muestra la capacidad máxima, como ahora se estipula en el Código.



**Figura 10.8.** El tubo de descarga desde la válvula de seguridad debería tener un drenaje para eliminar el condensado. (a) Tubo de baja presión. (b) Tubo de alta presión.

Mínimo control de vapor por libras/horas por pie cuadrado de superficie en calderas		
Superficie	Calderas pirotubulares	Calderas de tubos de agua
Superficie de calentamiento de caldera:		
Alimentada manualmente . . . . .	5	6
Alimentada por alimentador mecánico . . . . .	7	8
Combustible gaseoso, líquido o sólido pulverizado	8	10
Superficie calefactora de tubos de agua:		
Alimentada manualmente . . . . .	8	8
Alimentada por alimentador mecánico . . . . .	10	12
Combustible líquido, gaseoso y sólido pulverizado	14	16

NOTA: Cuando una caldera está alimentada solamente por un gas que tenga un poder calorífico que no exceda de 200 BTU/pie<sup>3</sup> (1867 kcal/m<sup>3</sup>), la capacidad de la válvula de seguridad debe basarse en los valores dados para la caldera con alimentación manual del combustible en el cuadro anterior.

**Figura 10.9.** La vieja regla de determinar la capacidad de la válvula de seguridad por la superficie de calefacción y el combustible quemado ha sido reemplazada por el sello o placa del fabricante de la capacidad de la caldera grabada en la placa del nombre según los requisitos del Código. La tabla superior es ahora una guía para aquellas calderas que no tienen placa grabada con la máxima capacidad de salida.

3. Para calderas eléctricas, la capacidad de descarga se determina multiplicando la potencia en kilovatios por 3,5 para obtener las libras por hora de capacidad de descarga de vapor.
4. Para calderas pirotubulares de hogar interior, la capacidad requerida de descarga del vapor en libras por hora se determina dividiendo la capacidad máxima en BTU de combustible quemado en la caldera por mil.

**Tolerancia de descarga y número de válvulas de seguridad.** La tolerancia del punto de descarga que una válvula debe cumplir es la siguiente, sobre una base aproximada:

1. 2 psi (0,14 kg/cm<sup>2</sup>) para presiones hasta 70 psi (4,9 kg/cm<sup>2</sup>) inclusive.
2. 3 por 100 para presiones desde 71 hasta 300 psi (de 35 a 21 kg/cm<sup>2</sup>).
3. 10 psi (0,7 kg/cm<sup>2</sup>) para presiones desde 301 hasta 1.000 psi (de 21 a 70 kg/cm<sup>2</sup>).
4. 1 por 100 para presiones de más de 1.000 psi (70 kg/cm<sup>2</sup>).

Una o más válvulas de seguridad deben tararse en o por debajo de la máxima presión admisible. El ajuste de presión más alto de una válvula de seguridad no puede exceder la presión máxima de trabajo admisible en más del 3 por 100. El rango de ajustes de presión de todas las válvulas de seguridad de la caldera no puede exceder el 10 por 100 del ajuste de la mayor presión a la que cualquiera de las válvulas esté ajustada.

Cada caldera requiere, al menos, una válvula de seguridad, pero si la superficie de calefacción excede de 500 pies cuadrados (45 metros cuadrados) o si la caldera es eléctrica con potencia de más de 500 kW, la caldera debe tener dos o más válvulas de seguridad. Cuando hay montadas no más de dos válvulas de diferentes tamaños en la caldera, la más pequeña no deberá ser menor del 50 por 100 en capacidad de descarga de la mayor.

**Válvulas de seguridad de sobrecalentadores.** Las válvulas de seguridad que descargan vapor a más de 450 °F (232 °C) de los sobrecalentadores deberán tener una conexión de entrada embridada o soldada en todos sus diámetros (tamaños). Estas válvulas deberán construirse en acero o aleación de acero adecuada para resistir el calor a las máximas temperaturas del vapor. El resorte o muelle en las válvulas de seguridad del sobrecalentador deberá estar totalmente resguardado (Fig. 10.6b) de modo que no esté en contacto con el vapor a temperaturas elevadas.

Cada sobrecalentador conectado a una caldera sin interposición de válvulas entre sobrecalentador y caldera, requiere una o más válvulas de seguridad en el colector de salida del sobrecalentador. Sin interposición de válvulas de corte entre el sobrecalentador y la caldera, la capacidad de las válvulas de seguridad sobre el sobrecalentador debe ser incluida en la capacidad total requerida para la caldera, supuesto que la capacidad de la válvula de seguridad en la caldera es, al menos, del 75 por 100 de la capacidad agregada de la válvula de seguridad requerida para la caldera.

Las válvulas de seguridad del sobrecalentador deberán estar siempre ajustadas a una presión menor que las válvulas de seguridad del calderín, de modo que se asegure el flujo de vapor a través del recalentador en cualquier circunstancia. Si las válvulas del calderín de seguridad soplan primero, el recalentador puede verse privado del vapor refrigerador, siendo posible el sobrecalentamiento y la rotura del tubo.

**Prueba de válvulas de seguridad.** La corrosión y los depósitos en la válvula y su asiento se producen porque la válvula de seguridad no se ha levantado durante un largo período de tiempo. Para evitar esta situación, más peligrosa en calderas automáticas (especialmente de baja presión), la válvula de seguridad debería actuarse periódicamente usando la palanca manual o preferiblemente por elevación de la presión del vapor hasta el punto de disparo. Esta última práctica debería realizarse solamente con una atención constante de la caldera y bajo supervisión de personal experto que vigilará cuidadosamente la presión y cortará inmediatamente la caldera si esta presión comienza a exceder la máxima admisible. Las pruebas de palanca de las válvulas de seguridad deberían hacerse con, al menos, el 75% de la presión de la caldera actuando sobre la válvula de seguridad.

Otros problemas que pueden encontrarse en las válvulas de seguridad, además de la corrosión y los depósitos, incluyen superficies dañadas por la corrosión de los asientos, partículas extrañas (óxido y depósitos calcáreos) y soldaduras atacadas, obstrucciones en la tubería que va desde la válvula de seguridad, produciendo chirridos, mientras que las obstrucciones en el lado de la descarga producen el cegado esporádico y/o pérdidas de la válvula de seguridad, así como un soplado y purga adecuados como consecuencia del mal ajuste del anillo de purga que puede también producir vibraciones. Otros defectos más notorios son una rotura o corrosión del resorte y ajustes demasiado próximos a la presión de diseño de trabajo.

**Reparaciones de las válvulas de seguridad.** La NB tiene ahora un procedimiento para calificar a los reparadores de válvulas de seguridad y conceder el sello «VR» a las organizaciones cualificadas. El procedimiento requiere el mantenimiento de un programa de control de calidad por la organización reparadora y también la demostración de la capacidad de reparación a satisfacción del representante de la NB. Esto incluye la aceptación de la prueba por un laboratorio aprobado para demostrar que

las válvulas reparadas cumplen los criterios operativos y funcionales (ajuste de presión y capacidad) como se estipula en la sección correspondiente del código ASME de calderas. Las válvulas reparadas deben tener una placa mostrando el símbolo NB de una reparación «VR», como se ve en la Figura 10.10. Muchas administraciones o jurisdicciones exigen que las válvulas de seguridad sean reparadas solamente por los poseedores del sello NB de calificación «VR»; además, para cumplir con los requisitos jurisdiccionales, los operarios de una planta de calderas deberían comprobar con los inspectores de jurisdicción toda reparación de la válvula de seguridad. Información adicional concerniente al sello «VR» de la NB para válvulas de seguridad puede obtenerse contactando con The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors (1055 Crupper Ave. Columbus OH, 43229. (614)888-8320) para EE. UU., en las Delegaciones de Industria de las comunidades autónomas en España y/o consultando el libro: «Reglamento de aparatos a presión e instrucciones técnicas complementarias» del MINER (Centro de publicaciones: Doctor Fleming 7, 28036 Madrid).

**Válvulas y tuberías.** Las válvulas en las calderas, como se ve en la Figura 10.1, comprenden válvulas de vapor en los colectores principales; válvulas de alimentación en la alimentación de agua de la caldera; válvulas de drenaje en las columnas de agua, niveles de vidrio y conexiones de drenaje; válvulas de purga para las purgas superficial y de fondo (sedimentos); válvulas de comprobación en las líneas de alimentación; y válvulas de antirretorno en los colectores y líneas de vapor. Los materiales para la tubería de las centrales térmicas son principalmente de acero al carbono o aceros inoxidable. En las aplicaciones nucleares deben considerarse en el diseño de tuberías los cambios de propiedades metálicas como resultado de la radiación. Los factores que afectan a los tubos de las centrales térmicas incluyen regímenes y trastornos transitorios térmicos debidos a los cambios rápidos de temperatura causados por problemas de operación, golpes de ariete debidos al agua atrapada en los tubos, vibración y agrietamiento a partir de la maquinaria conectada que requiere una atención muy seguida y próxima para el equilibrado de la maquinaria rotatoria (turbinas y alternadores). Las vibraciones sísmicas de gran amplitud y baja frecuen-

Reparado por:		
_____		
(Nombre de la firma reparadora de la válvula)		
	_____ (Presión de ajuste) <sup>1</sup>	_____ (Soplado) <sup>2</sup>
N.º _____ (National Board Valve Repair Certification n.º)	_____ (Fecha de la reparación)	
_____ (Identificación: n.º de serie de reparación, tienda, n.º de orden, etc.)		

**Figura 10.10.** Muestra de la placa y símbolo «VR» del National Board placa y símbolo de que la válvula de seguridad ha sido reparada por una organización autorizada por NB.

cia deben tenerse en cuenta en el diseño de plantas nucleares. La Figura 10.11 muestra algunos sistemas de soporte de tuberías.

Cada salida o descarga de vapor principal o secundaria, excepto la válvula de seguridad y conexiones del sobrecalentador, debe tener una válvula de corte conectada tan cerca de la caldera como sea posible. Cuando el diámetro de salida es de más de 2" (diámetro del tubo), la válvula debe ser del tipo compuerta y husillo (O S & Y) para indicar por la posición de la espiga roscada si la válvula está abierta o cerrada. Cuando dos o más calderas están conectadas a un colector principal común de vapor, la conexión de vapor de cada caldera que tenga agujero de hombre debe tener dos válvulas de corte en serie, con un drenaje amplio de soplado libre entre ellas. La descarga del drenaje debe estar bien a la vista del operario cuando abre o cierra las válvulas. Ambas válvulas pueden ser del tipo O S & Y, pero una debería ser una válvula automática antirretorno. Esta debería estar colocada cerca de la caldera, de modo que pueda ser examinada y ajustada o reparada cuando la caldera esté desconectada de la línea de vapor. Los conectores o tuberías principales de vapor que van a la planta desde la caldera deberían estar adecuadamente soportados.

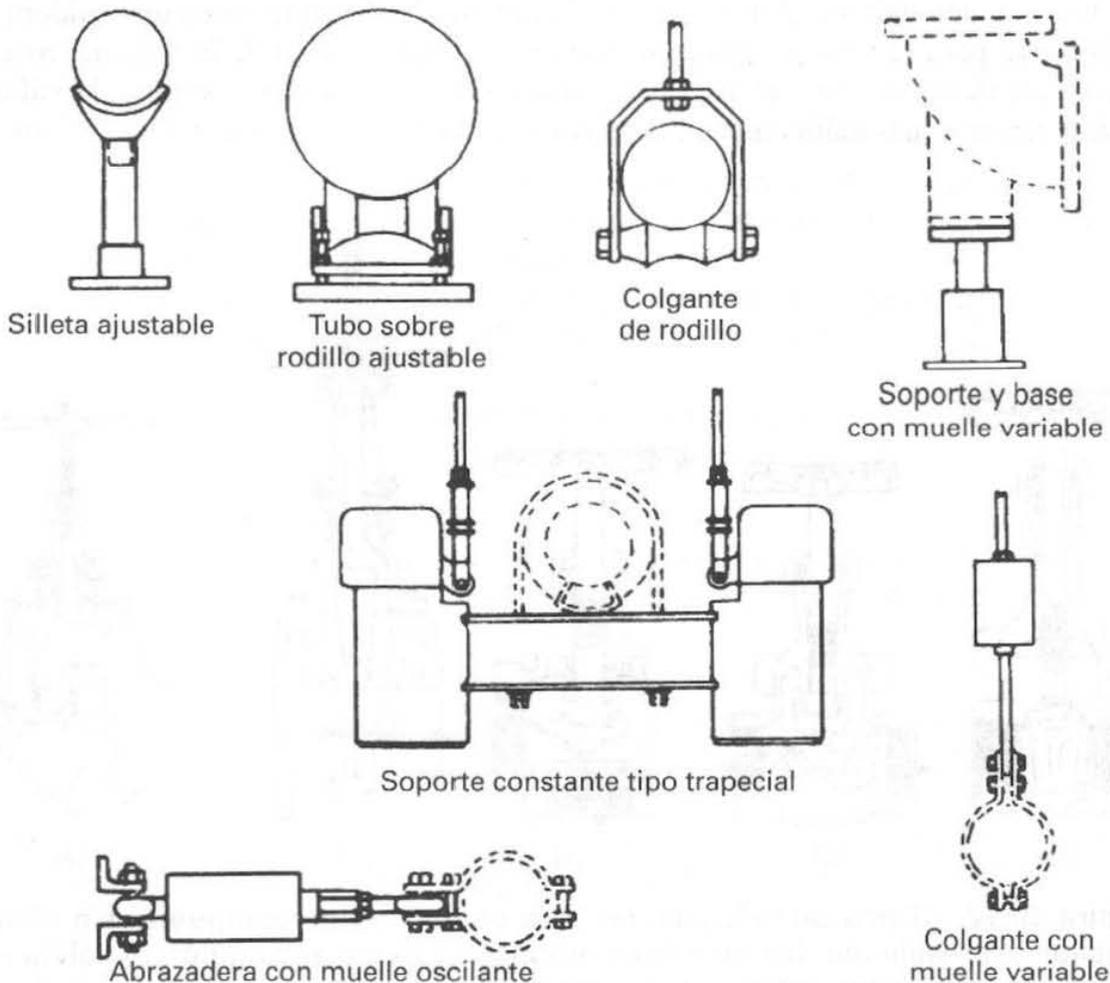
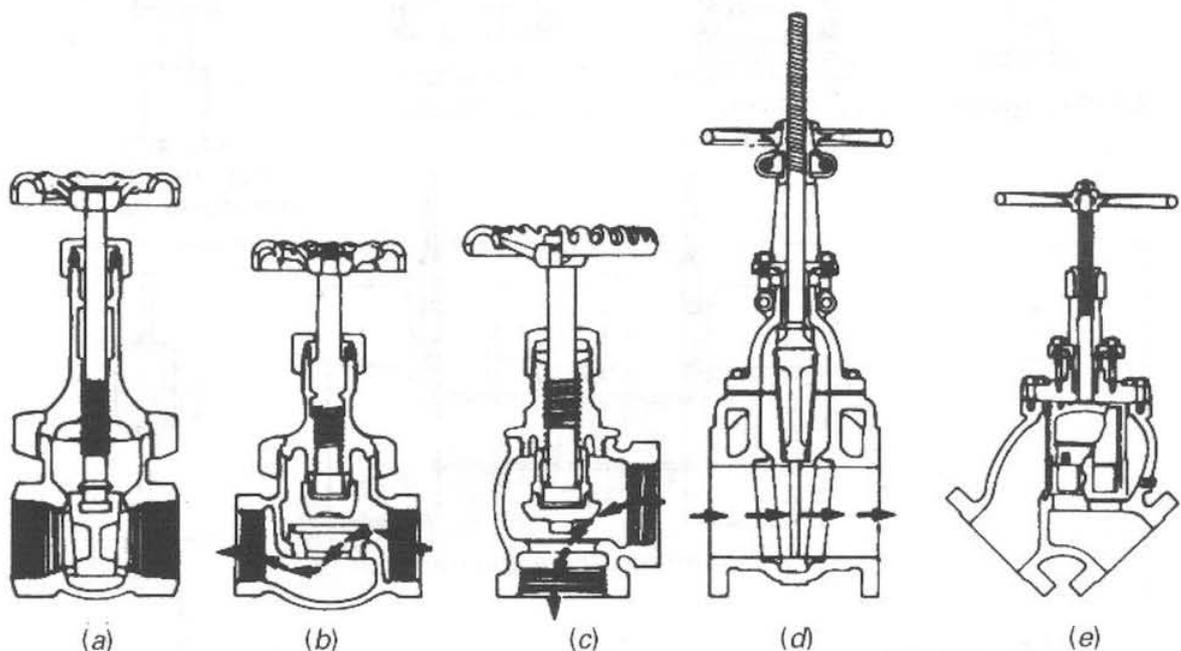


Figura 10.11. Métodos de soporte de tuberías de plantas térmicas.

Una *válvula antirretorno* (Fig. 10.12e) se utiliza a veces como válvula de corte en la línea principal de vapor próxima a la caldera de vapor. La función de las válvulas de corte y comprobación o válvulas antirretorno, como frecuentemente son conocidas, es tan importante como la de las válvulas de seguridad de disparo en las calderas donde dos o más unidades están conectadas al mismo colector. Automáticamente evitan el retroceso desde el colector, lo que provocaría un fallo de caldera. Simplifican el trabajo de cortar una caldera o ponerla en funcionamiento. Protegen a los equipos de reparación o inspección de la caldera contra un retroceso del vapor en el caso de que la válvula de corte del colector estuviese accidentalmente abierta. Ninguna planta multicaldera debería estar sin la presencia de estas válvulas. Están disponibles en modelos de paso recto, modelos en ángulo y de globo, dependiendo de la presión de trabajo.

Varios tipos de válvulas se muestran en la Figura 10.12. Como norma, la válvula de globo (Fig. 10.12b) se usa cuando se desea una estanqueidad positiva contra fugas y donde el fluido controlado está prácticamente libre de sólidos en suspensión. Debería notarse en la figura que ambas, la válvula de disco (compuerta) y la de asiento, son renovables. Si se produce desgaste, todo lo que se necesita hacer es quitar presión de la línea o tubería, desatornillar el bonete de la válvula y cambiar las piezas desgastadas. El cuerpo de la válvula no tiene que ser desmontado de sus conexiones a la tubería.

Cuando una válvula globo se usa en la tubería de alimentación a una caldera, es importante para el flujo de alimentación entrar bajo el disco de la válvula. Si este flujo entra desde arriba y el disco permanece saliendo del tallo o espiga, la válvula podría cerrarse automáticamente, cortándose la alimentación a la caldera. Como se



**Figura 10.12.** Tipos de válvulas. (a) Tipo de válvula de compuerta sin espiga roscada sobresaliente; (b) válvula de globo; (c) válvula en ángulo; (d) válvula de compuerta con salida exterior de la espiga roscada; (e) válvula antirretorno para línea de vapor. (Cortesía de Crane Co.)

ve en la Figura 10.12b, el fluido cambia de dirección cuando pasa a través de la válvula de globo. Esta construcción del asiento incrementa la resistencia al —y permite una regulación fina del— flujo del fluido.

El disco y el asiento pueden ser rápida y convenientemente reajustados o cambiados. Esta disposición la hace ideal para servicios que requieren un mantenimiento de válvulas frecuente. El movimiento rápido y corto del disco ahorra a los operarios tiempo cuando las válvulas deben utilizarse frecuentemente.

Las *válvulas en ángulo* (Fig. 10.12c) tienen las mismas características operativas que las válvulas de globo. Utilizadas cuando hay un giro de noventa grados en la línea, las válvulas en ángulo reducen el número de juntas y ahorran tiempo de aportación. También proporcionan menos restricción al flujo que la válvula acodada y la de globo, a las que sustituye.

La *válvula de compuerta* puede ser de uno de los siguientes tipos: las de tuerca y compuerta interna, y las de tipo de tornillo y espiga sobresaliente (Fig. 10.12a y d). Las válvulas de compuerta son las mejores para servicios que requieren una operación no muy frecuente de válvulas y donde el disco se mantiene o totalmente abierto o totalmente cerrado. *No son prácticas para regulación.* Con el tipo normal de válvula de compuerta es imposible conseguir una regulación fina. La velocidad de flujo contra el disco parcialmente abierto puede causar vibración y producir daños en las superficies de asiento. También, cuando está regulando el disco, está sujeto a efectos erosivos severos.

La válvula de compuerta de espita, sin embargo, está muy bien adaptada para el servicio de regulación. La válvula de compuerta trabaja sobre el principio de la cuña con una considerable superficie de contacto del asiento. También, ya que el flujo que la atraviesa es recto, no se ofrece remanso que detenga los sedimentos o trozos de costra. De aquí que las válvulas de compuerta deberían usarse para drenaje de columnas de agua y para servicios similares.

La válvula de espiga roscada saliente se utiliza cuando es prioritario que haya una indicación de que la válvula está en posición abierta. Este tipo de válvula es necesario cuando se usan válvulas de corte en los tubos de unión entre columna de agua y caldera\*. Hay disponibles muchas otras modificaciones de las válvulas de globo y compuerta para servicios especiales con diversos fluidos.

**Válvulas y accesorios de purga.** Se precisa una conexión u orificio de purga en la parte inferior de la calderas y en su generatriz más baja para cumplir con tres propósitos:

1. Eliminar y evacuar los lodos precipitados y restos de escamación.
2. Permitir una bajada rápida del nivel del agua si se ha elevado con exceso accidentalmente.
3. Como medida de eliminación de agua del sistema de calderas de modo que pueda añadirse agua nueva para mantener la concentración de sólidos en la caldera por debajo del punto en que puede haber dificultades.

---

\* *N. del T.:* No hay que olvidar las válvulas de cono o esfera de 1/4 de vuelta, que abren o cierran en un giro de 90° y que tienen toda una superficie troncocónica o esférica de contacto y cierre.

Ya que alguna de estas funciones pueden realizarse en condiciones de emergencia, es esencial que las válvulas de purga estén conformadas con arreglo a especificaciones rígidas. Las válvulas de globo no están permitidas bajo ningún concepto por lo inherente a su diseño, debido a la tendencia al remanso o bolsa que se forma, donde se acumulan los sedimentos.

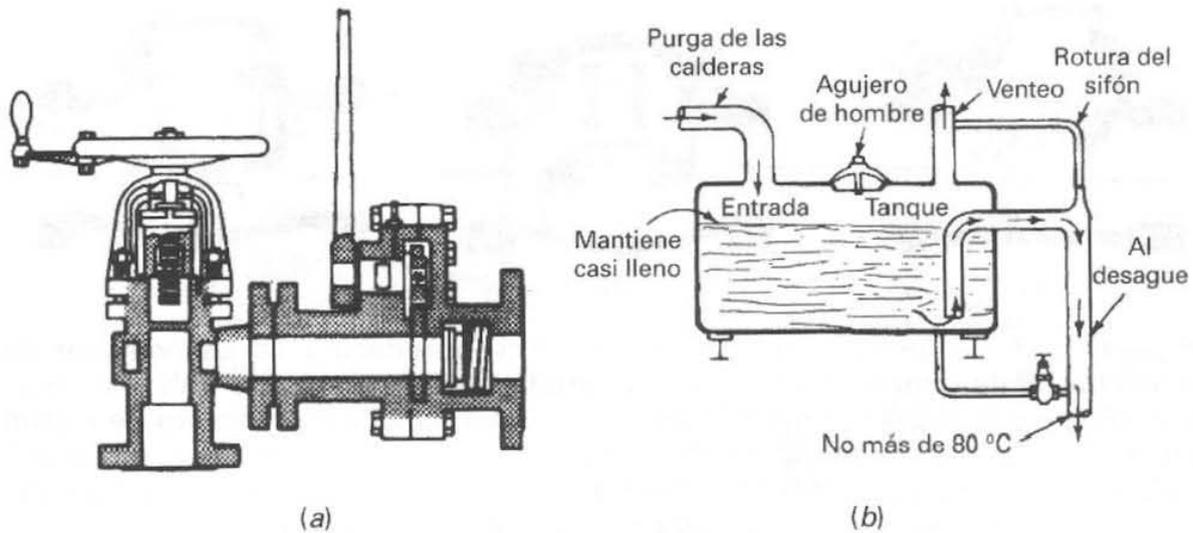
Las válvulas y los accesorios de purga deberían estar diseñados para, al menos, una presión 25 por 100 mayor que la presión admisible en la caldera.

Los accesorios de fundición pueden utilizarse entre la válvula de purga y la caldera para presiones de 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>) o menos, pero son preferibles los accesorios de acero. Éstos están normalizados por los requisitos del código ASME para presiones de más de 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>) y las válvulas de acero para más de 250 psi (17,5 kg/cm<sup>2</sup>).

Si la presión excede de 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>), se deberían utilizar al menos dos válvulas de purga (Fig. 10.13a). Al menos una de estas dos válvulas debería ser de apertura lenta. El código ASME define la válvula de apertura lenta como aquella que requiere al menos cinco vueltas completas de 360° entre la apertura y el cierre total. Cuando hay más de una conexión de purga en una caldera uniéndose en un colector común de purga, una válvula en cada línea independiente y una válvula maestra en la caldera con los requisitos del código ASME. El código especifica además que una válvula doble de purga en una virola está permitida para que el fallo de una válvula no afecte a la otra.

Es necesario un *tanque o depósito de purga* cuando no hay espacio abierto disponible al cual puedan descargar las calderas su purga, sin peligro de accidentes o daños a la propiedad. Por ejemplo, descargar la purga sobre un sumidero, probablemente dañaría el sumidero por inyectar agua caliente a presión directamente en su interior. Una buena instalación de depósito de purga está siempre casi llena de agua (Fig. 10.13b). La asociación NB de inspectores de calderas y recipientes a presión ha publicado las reglas recomendadas para el equipo de purga de calderas, incluyendo métodos para calcular el tamaño del depósito de purga que se necesita para la presión y capacidad de la caldera en consideración. La Figura 10.13c muestra los diámetros de tubería recomendados para las conexiones tubulares de la purga, y el tamaño mínimo del depósito basado en toda capacidad de la caldera. El depósito debería diseñarse de acuerdo con la Sección VIII del código ASME de construcción de calderas, para una presión de trabajo de caldera de al menos un 25 por 100 de la presión máxima de trabajo de la caldera a la cual está conectado. En ningún caso, sin embargo, puede ser el espesor de la chapa menor de 3/8" (9,53 mm).

**Válvulas de comprobación.** Las *válvulas de comprobación* se utilizan allí donde el flujo unidireccional es fundamental, como cuando el agua de alimentación se introduce en las calderas. El disco oscilante o clapeta de la válvula (véase la Figura 10.14a de la página 378) cierra contra su asiento si el flujo tiende a invertirse. Bajando la presión de la tubería y quitando la tapa y la conexión colateral, la válvula y su asiento pueden limpiarse y pulirse para alojar y presentar una cara nueva o un nuevo asiento cuando éste se haya desgastado. También, todas las piezas son renovables. Al ser válvula antirretorno, las válvulas de comprobación se usan para evitar el retroceso en las líneas. En cuanto a principio de trabajo, todas las válvulas antirretorno se conforman con uno de los dos modelos básicos. En la Figura 10.14a se muestra



Mínimo diámetro del tubo

Diámetro de purga de caldera, mm	Diámetro de salida, mm	Diámetro de venteo, mm
Mínimo 19	19	50,4
25,4	25,4	65
32	32	75
37	37	100
50,4	50,4	125
65	65	150

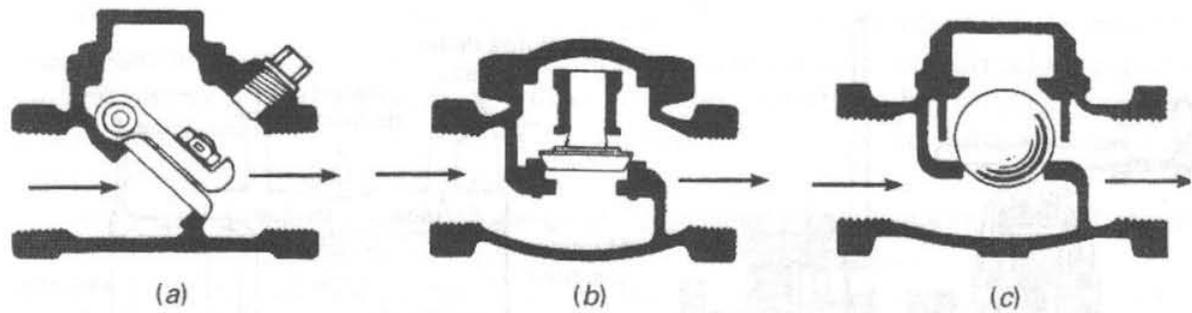
Mínimo tamaño del depósito

Producción de la caldera, kg/hr	Mínimo tamaño del depósito	
	Diámetro, mm	Altura, mm
69-690	457,2	610
724,5-1.725	610	762
1.760-3.450	762	914,4
3.485-6.900	914,4	914,4
6.935-13.800	914,4	1.067
13.835-27.600	1.067	1.219,2
27.635-34.500	1.219,2	1.524

Nota: Utilice 34,5 lb/(hr/HP) para convertir a HP.

(c)

**Figura 10.13.** Las válvulas de purga y los depósitos de purga se usan para eliminar sedimentos de las calderas. (a) Válvula de purga en ángulo recto y apertura rápida a colocar donde se requieren dos válvulas si la presión es mayor de 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>). (b) Los tanques de purga evitan que el vapor o agua caliente vaya a parar a sumideros o espacios abiertos para evitar quemaduras al personal. (c) Tamaño de tubos y tanques de purga recomendados por el NB y basados en la potencia de las calderas.



**Figura 10.14.** Algunos tipos de válvulas de comprobación. (a) Las válvulas de disco oscilante tienen una colección reemplazable de arandelas sobre el disco que absorbe la mayor parte del desgaste. (b) La válvula de chequeo de pistón se usa para servicio a elevada temperatura, dando un cierre estanco. (c) La válvula de chequeo de esfera libre flotante tiene una buen vida de servicio del asiento, ya que la bola nunca se asienta en la misma posición.

el modelo oscilante. El flujo se desplaza a través de estas válvulas en aproximadamente una línea recta comparable a la que tiene la válvula de compuerta. En las válvulas de empuje o de pistón y bola (Fig. 10.14b y c) el flujo se mueve a través del cuerpo en un camino cambiante, como en las válvulas de globo y de ángulo. En ambos tipos, la oscilante y la de empuje, el caudal mantiene la válvula abierta mientras la gravedad e inversión de flujo la cierran automáticamente.

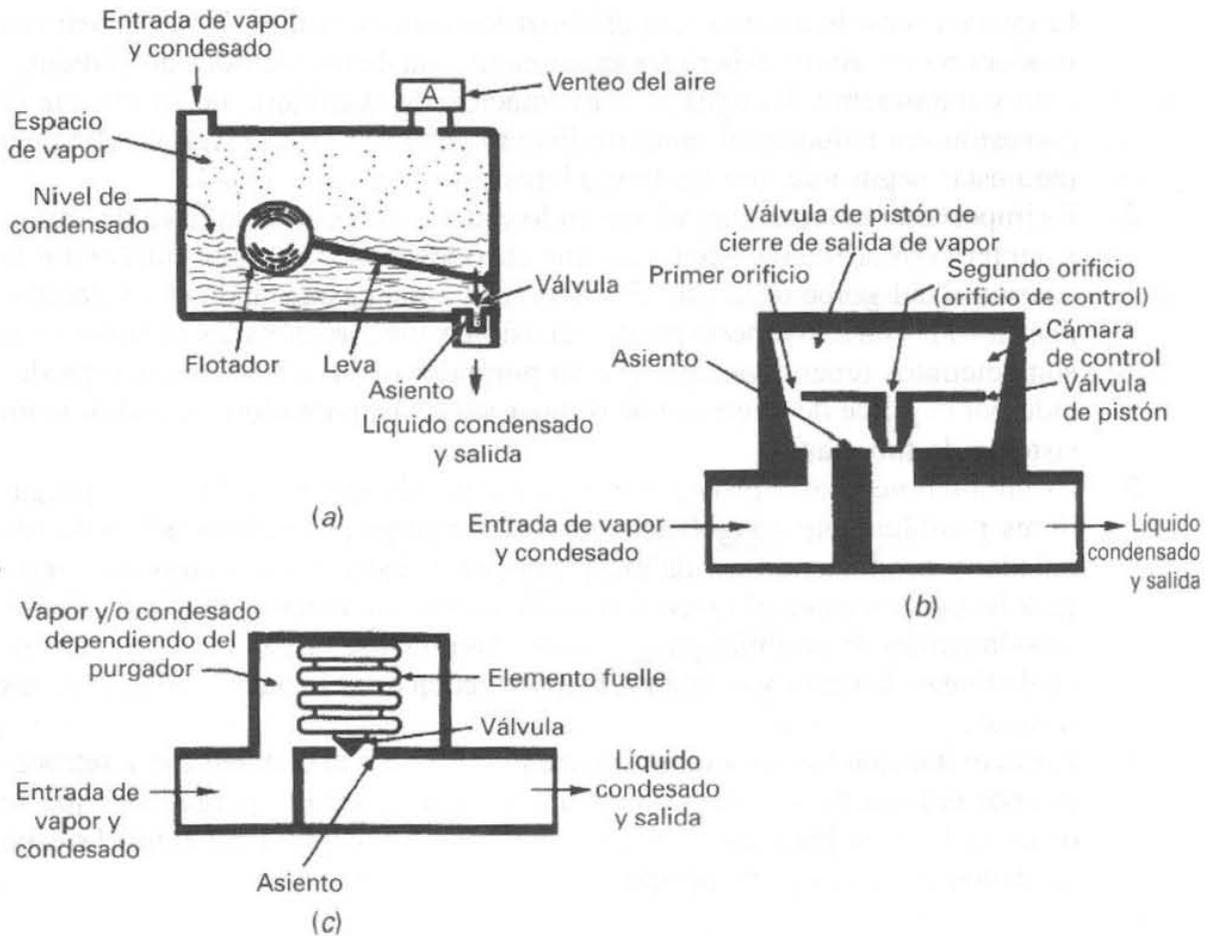
La precaución fundamental que ha de observarse cuando se instala una válvula unidireccional, sea oscilante o de empuje, es ver que el caudal entra y fluye correctamente; por ejemplo, que el disco se abre con el flujo. Si usted sigue la marca que hay en el cuerpo de la válvula, usted podrá estar seguro de que la válvula está instalada correctamente y que el disco está adecuadamente asentado por el retroflujo o por la gravedad cuando no hay flujo.

## **PURGADORES DE VAPOR**

Los purgadores de vapor deben instalarse en las líneas siempre que el condensado tenga que drenarse tan rápidamente como se acumule y siempre que el condensado deba recobrase para calefacción, para necesidades de agua caliente o para retornarlo a las calderas (Fig. 10.15). Se produce moho u óxido en las tuberías de vapor, separadores y todo equipo calentado por vapor u operado por él. El objetivo de un purgador es mantener el vapor primero dando el calor de vaporización, cerca de 970 BTU/libras (538 kcal/kg), cortando el flujo de vapor a través del purgador hasta que se condensa, y después abriendo para dejar que el condensado fluya hacia el bucle de agua de la caldera. Esto permite al vapor ceder su energía para realizar trabajo útil y así contribuir a ahorrar costos de combustible.

Otra característica de los purgadores es el venteo incorporado en su diseño de modo que el aire o gases atrapados puedan ventearse del sistema de tuberías vapor-condensado. Este venteo evita:

1. Pérdida de calor transferido porque el aire actúa como un aislante dentro del sistema de tuberías de vapor.



**Figura 10.15.** Los purgadores de vapor se utilizan para evitar el paso de vapor en una línea o aparato utilizador de vapor hasta que el vapor le cede su calor de condensación y después el purgador se abre para permitir al condensado que fluya a tanques de condensado o depósito de condensado de la caldera. Su modo de operación varía. (a) Un purgador de flotador abre y cierra por cambios en el nivel de condensado. (b) Los purgadores de pistón utilizan la energía térmica en el condensado caliente y la energía cinética del vapor para abrir y cerrar el purgador. (c) El purgador de fuelle (Bellows) es un purgador termostático que tiene un fuelle con un líquido que responde a los cambios de temperatura y así abre y cierra el purgador, usualmente basado en la temperatura de saturación del vapor y la presión implicada. (Cortesía de Yarway Corp.)

2. Corrosión por oxígeno dentro del sistema de tuberías de vapor.
3. Acumulación de gases como el dióxido de carbono que puede formar ácido carbónico, que ataca y corroe la tubería metálica de vapor.

Hay muchos tipos de purgadores, como se ilustra en la Figura 10.15. Todos ellos requieren inspecciones periódicas y mantenimiento, porque las siguientes condiciones nocivas afectarán su correcto funcionamiento:

1. Suciedad, óxido, rebabas de soldadura y contaminantes similares del interior del purgador afectarán y limitarán sus movimientos internos. Un modo de evitarlo es instalar filtros delante del purgador. Los filtros tendrán que ser

limpiados periódicamente para eliminar los contaminantes. Si se encuentran productos corrosivos deberá hacerse una revista de los métodos de alimentación y tratamiento del agua de alimentación de la caldera, de forma que la corrosión sea reducida al mínimo. Esto puede requerir también un chequeo para estar seguro de que los purgadores están funcionando.

2. Es importante colocar purgadores en los puntos básicos de la línea de vapor, y a intervalos adecuados de forma que el condensado se separe y así evitar la aparición del golpe de ariete. El vapor y el agua desplazándose a velocidades elevadas en una tubería pueden ocasionar fuerzas elevadas de impacto si son detenidos repentinamente por un purgador o válvula. El choque producido por el golpe de ariete puede romper válvulas, purgadores y codos de un sistema de tuberías.
3. Es también necesario protegerse del condensado que se halla en los purgadores posiblemente congelándose a temperaturas por debajo del punto de helada, y produciendo así daños al purgador. Esto es especialmente cierto para instalaciones en el exterior o edificios sin calefacción. Hay purgadores autodrenantes disponibles para evitarlo. También se utiliza el trazado térmico de líneas de vapor y condensado que pueden estar expuestas al azar de las heladas.
4. Para evitar que los purgadores cierren y obliguen al condensado a retroceder por la línea de vapor, la práctica moderna es instalar purgadores que se quedan abiertos. Esto puede producir pérdida de energía, pero evita el riesgo de daños por agua en el equipo que se sitúa aguas arriba.

**Detección de purgadores con fallos.** Los purgadores defectuosos o con pérdidas pueden producir una pérdida de energía junto a probables daños del equipo de proceso. Las inspecciones periódicas son, por tanto, necesarias para asegurarse de estar trabajando según diseño. Los métodos utilizados son:

1. Si la presión del condensado está por encima de la atmosférica, la válvula de ventilación puede abrirse (después del purgador) para ver si el agua o vapor está saliendo. El condensado a temperatura elevada puede vaporizarse instantáneamente; sin embargo, esto puede reconocerse a causa de que el vapor vaporizado normalmente tiene apariencia de nube, mientras que el vapor vivo que ventea no es visible y escapa a gran velocidad. El vapor vivo, por supuesto, significa que el purgador es defectuoso y que necesita comprobación para ser reparado.
2. Los métodos de detección de cambio de ruido o inspección del sonido utilizados incluyen una escucha cuidadosa con una varilla colocada sobre el purgador o utilizando los detectores sónicos disponibles. La mayoría de los purgadores, si están trabajando correctamente, dan un sonido de apertura y cierre a medida que el vapor llega al interior y se permite salir al condensado. Si no están trabajando correctamente, hay un sonido de vapor soplando o silbando a través del purgador sin proporcionar salida al calor de condensación.

El purgador de pistón ilustrado en la Figura 10.15 se usa para servicio de alta presión y está tarado como purgador termodinámico. Al arrancar, como ocurre sobre

una línea de vapor que va a una turbina, la presión creada por el condensado frío empuja el pistón de la válvula, descargando el condensado de la línea de vapor. Cuando la temperatura del vapor y del condensado se aproximan a la de saturación, esto induce al condensado de la cámara de control a vaporizarse instantáneamente («flasheado») y estrangula u obstruye el reflujo a través del orificio de control, aumentando la presión en la cámara de control. Este aumento de presión actuando sobre el área efectiva del pistón con mayor fuerza que la presión atmosférica de entrada, origina el cierre con golpe, y esto evita que el vapor fluya a través del purgador. Cuando el condensado más frío alcanza el purgador, la presión en la cámara de control cae, la vaporización cesa y el purgador reabre y deja al condensado fuera, y así el ciclo vuelve a repetirse.

## **REGULACIÓN DEL NIVEL DE AGUA Y DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN EN LA CALDERA**

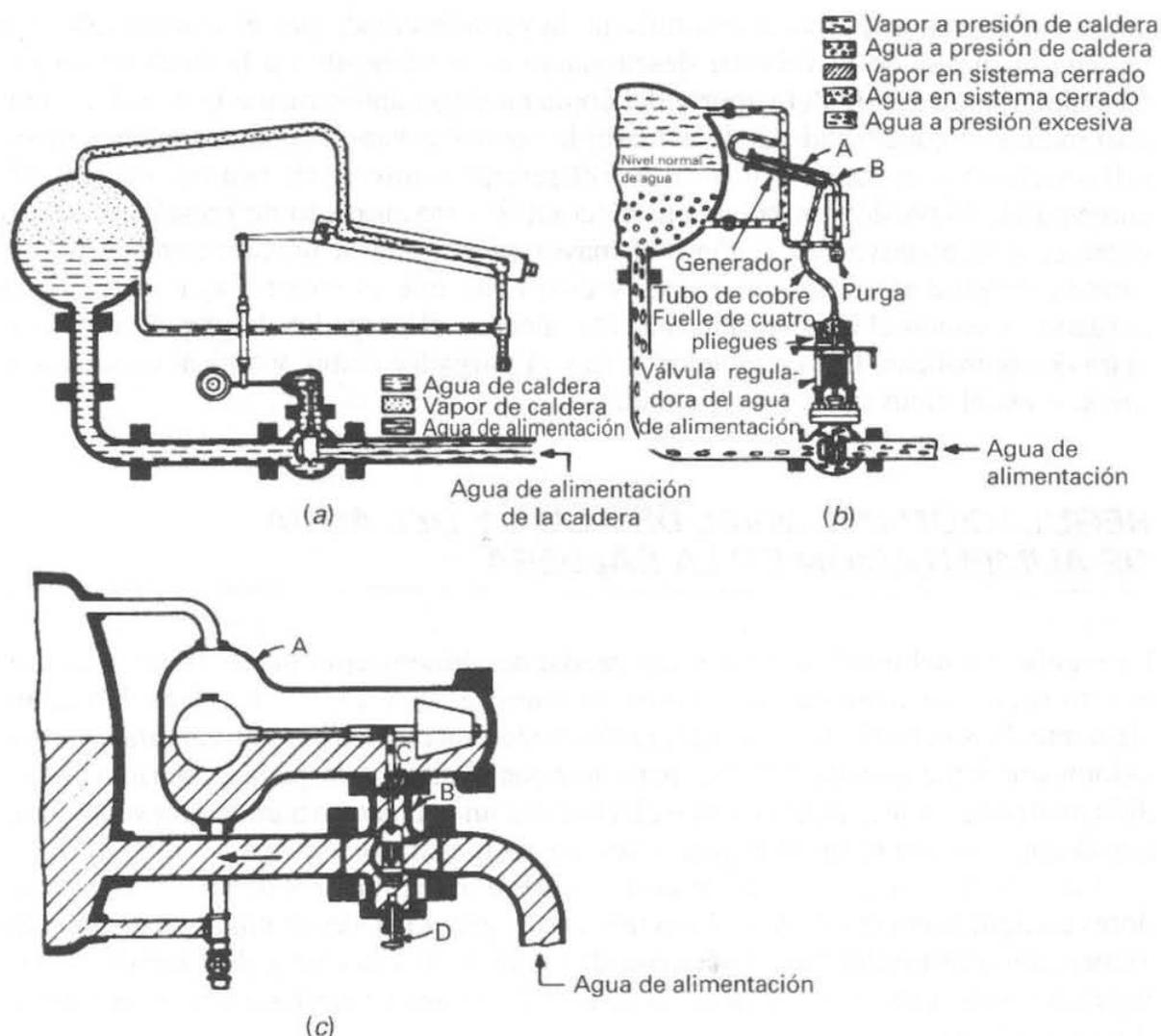
---

La regulación del nivel de agua y del caudal de alimentación puede llevarse a cabo por un regulador autocontenido como se muestra en la Figura 10.16 de la página siguiente. Los controladores de nivel más modernos pueden ser por válvulas controladoras que dependen de sensores para detectar el nivel y después transferir esta medida mediante señales neumáticas o eléctricas a un actuador o a un microprocesador, que después ajusta el nivel al punto deseado o requerido.

Las calderas viejas están todavía equipadas con reguladores de nivel y alimentadores de agua autocontenidos. Hubo tres clases generales de reguladores de agua de alimentación utilizados para toda clase de tamaños de calderas y de potencias: 1) el regulador mecánico-termostático; 2) el tipo de fluido termostático; y 3) el tipo de flotador o boya.

El regulador de agua de alimentación o de Copes (Fig. 10.16a) es de tipo mecánico-termostático. Cada extremo del tubo inclinado está conectado a la caldera; así cuando el nivel de agua en la caldera es normal, el nivel de agua estará por la mitad del tubo inclinado. Debido a la posición inclinada del tubo termostático, una variación de 1" (25 mm) en el nivel de agua de la caldera producirá un cambio de varias pulgadas en la posición del agua en el tubo. Este hecho hace al regulador extremadamente sensible en su trabajo. Un extremo del tubo está conectado a través de un bielaje y poleas de tracción a la válvula de control de alimentación de agua. A medida que el nivel de agua en la caldera baja, la parte mayor de la longitud del tubo estará expuesta al vapor, se expansiona (dilata) y abre la válvula de control de alimentación de agua. A medida que el nivel de agua en la caldera sube, el tubo se enfría, se contrae y cierra la válvula de alimentación de agua.

El regulador Bailey representa el tipo termostático hidráulico (Fig. 10.16b). Se utiliza un tubo termostático inclinado. Este tubo está rodeado por una envolvente o «camisa» aleteada para disipar calor a la atmósfera y hacerlo rápidamente respondiendo a los cambios de temperatura del interior del tubo termostático. La «camisa» o envolvente contiene agua que a través de un circuito cerrado de tubo conecta con un fuelle metálico que está en la parte superior de la válvula controladora de alimentación de agua. Un muelle tiende a equilibrar la válvula contra la presión del fluido

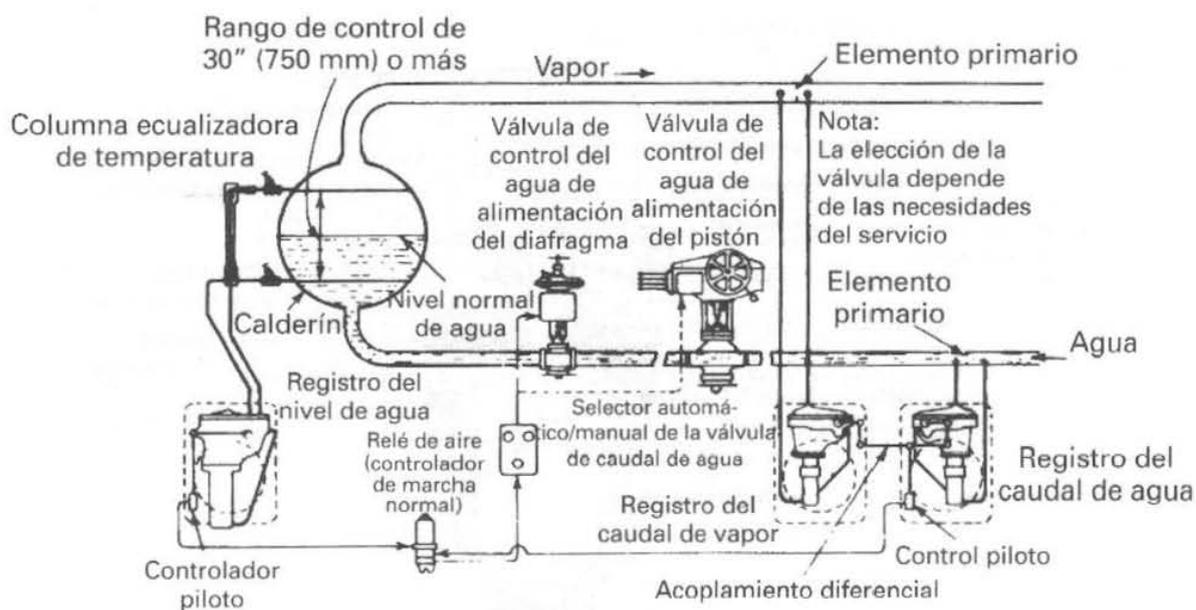


**Figura 10.16.** Reguladores del agua de alimentación antiguos. (a) Tipo Copes. (b) Tipo Bailey. (c) Tipo Stets. (Cortesía de Bailey Meter Co.)

sobre el sifón o fuelle. La posición de la válvula de alimentación de agua está controlada por la presión del fluido producida por los cambios de temperatura y variación del nivel de agua (y espacio de vapor) en el tubo termostático.

El regulador Stets representa el tercer tipo (Fig. 10.16c). Aquí, una cámara con flotador está conectada a la misma altura que el nivel normal de agua en la caldera. Un flotador de boya sube y baja con el nivel de agua de la caldera y, a través de un sistema de bielas y palancas, sube y controla la posición de la válvula de alimentación de agua.

**Regulador de alimentación de agua de tres elementos.** En un control de alimentación de agua de tres elementos, como se ve en la Figura 10.17, el caudal o flujo de vapor, el caudal de agua de alimentación y el nivel de agua son medidos y registrados por medidores operados mecánicamente. Las medidas de caudal de vapor y de agua están equilibradas una respecto a la otra mediante un embielaje diferencial. Un control piloto está conectado al embielaje de modo que cualquier diferencia entre las



**Figura 10.17.** El regulador de tres elementos controla el caudal de vapor y agua de la caldera y también mantiene el nivel de agua.

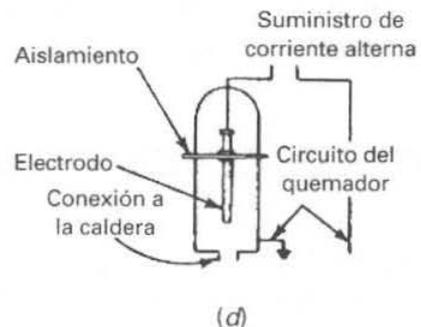
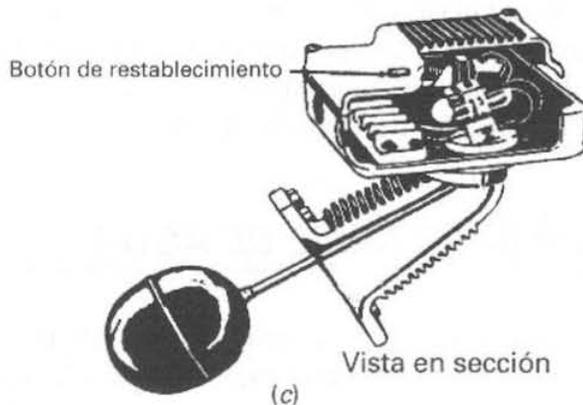
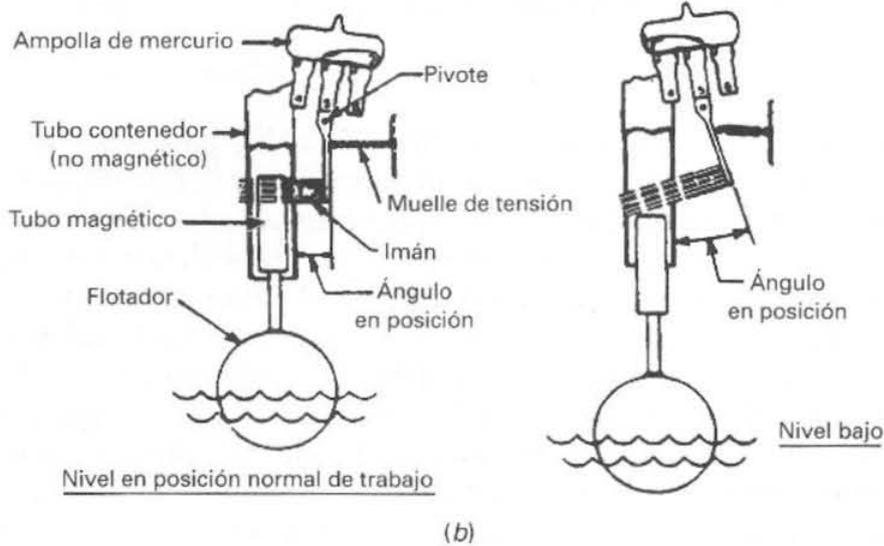
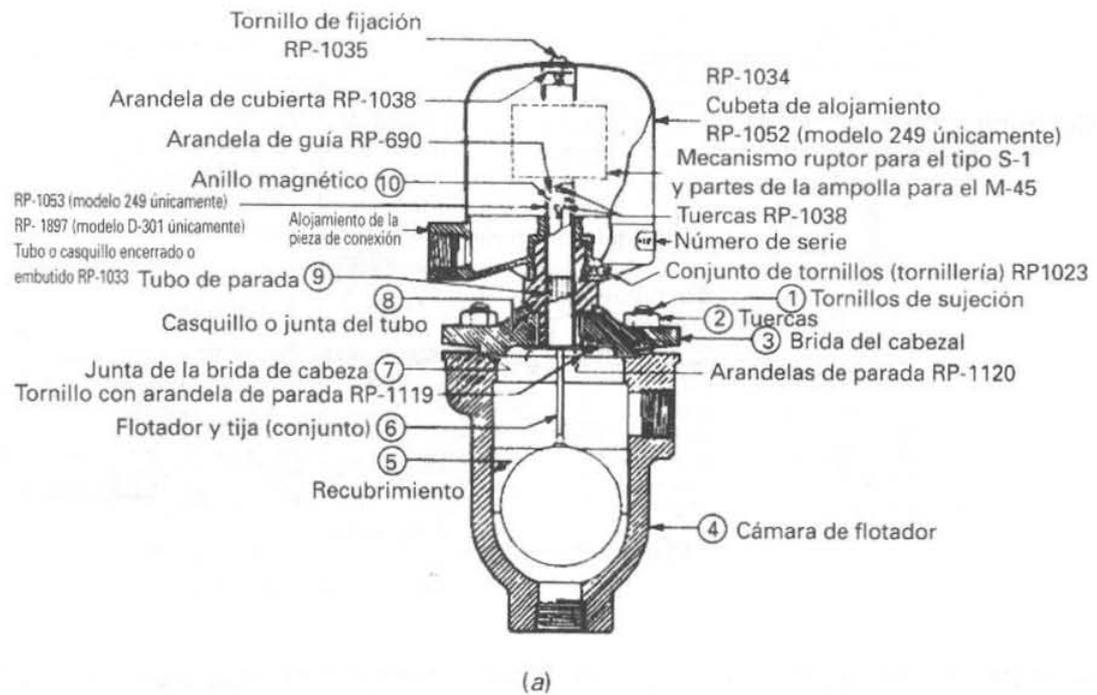
cantidades de caudal de vapor y agua produce un cambio en la señal de salida neumática. Esta señal se transmite a un relé de aire que está combinado con la señal neumática procedente del registrador de nivel de agua.

Un cambio de carga en la caldera desequilibra el embielaje mecánico, produciendo así un cambio en la señal de salida del control piloto. Lo que a su vez cambia la señal de salida del relé de aire. Esta nueva señal reposiciona la válvula de seguridad de control de agua de alimentación, admitiendo el agua necesaria en la caldera, igualando el caudal de agua entrante al de vapor que sale de la caldera. El cambio resultante en el caudal de agua reequilibra el embielaje mecánico diferencial y lleva la señal de control piloto a su punto neutro. Como comprobación final y para asegurar que el calderín tiene el nivel adecuado, la señal del control piloto en el registrador de nivel de agua reajusta el control de la válvula de alimentación, si es preciso. El selector situado en la válvula del sistema proporciona control automático o manual remoto. En condiciones normales de trabajo, el manómetro de control de presión en el selector de la válvula es una indicación de la posición de ésta.

## ***CORTES DE COMBUSTIBLE POR BAJO NIVEL DE AGUA***

Un desconectador o corte de combustible por bajo nivel de agua (Figura 10.18 de la página siguiente) separado del control de programación de secuencia, corta inmediatamente la caldera si el agua desciende a un nivel peligrosamente bajo. Los tres tipos existentes son los siguientes:

1. El tipo de flotador magnético (Fig. 10.18a) tiene una boya de hierro en un extremo de una varilla. La boya se desliza por el interior de una cubierta no



**Figura 10.18.** Tipos de aparatos de corte de quemador por bajo nivel de agua. (a) Tipo de imán flotador LWCO. (b) Operación de la ampolla de mercurio en el tipo LWCO de flotador-imán. (c) Tipo flotador y embrelaje LWCO. (d) Tipo electrodo probeta LWCO. (Cortesía Magnetrol Corp.)

ferrosa. Un imán permanente, con una ampolla de mercurio basculante fijada, está soportado por un pivote adyacente a la cubierta no ferrosa. Bajo condiciones normales de agua, la boya de hierro está por encima y fuera del alcance del campo magnético. En esta posición la ampolla de mercurio está en un plano horizontal, manteniendo cerrado el circuito del quemador. Pero si el nivel de agua en la caldera cae, el flotador también cae, llevando a la boya de hierro al interior del campo magnético. Entonces el imán bascula haciendo un pequeño arco hacia la boya y el mercurio de la ampolla bascula, abriendo el circuito del quemador.

2. El tipo de embielaje y flotador (Fig. 10.18b) tiene un flotador conectado a través de un embielaje o unión mecánica a una chapa que soporta una ampolla de mercurio basculante. Como la chapa está horizontal en posición normal de nivel de agua, la ampolla de mercurio mantiene el circuito del quemador cerrado. Si el nivel de agua cae, el flotador baja, obligando a la ampolla a abrir el circuito del quemador.
3. El tipo de electrodo sumergido (Fig. 10.18c) utiliza el agua de la caldera para cerrar el circuito del quemador. Si el nivel de agua cae por debajo del electrodo, el flujo de corriente se interrumpe, cortando el quemador. En calderas de tubos de humos, el corte por nivel bajo normalmente incluye un conector intermedio que controla la alimentación de la bomba.

El quemador de combustible en caldera operado automáticamente y quemando combustible en suspensión puede quedar expuesto a sufrir daños importantes si hay una interrupción en la alimentación de agua a la caldera. El corte de combustible por nivel bajo es la última defensa contra un posible daño en la caldera por sobrecalentamiento; por otra parte, debería comprobarse y mantenerse en condiciones adecuadas. Para calderas no atendidas, la prueba debería hacerse al menos una vez por semana. Excepto para el tipo probeta, la prueba también debe eliminar cualquier sedimento fuera del recipiente en el que se halla el elemento sensible, por ejemplo un flotador. Con el quemador encendido, la válvula de drenaje de corte por nivel bajo estará abierta y el quemador debería cortar a medida que el nivel de agua cae por debajo de la línea normalmente indicada por el fabricante del aparato de corte por nivel bajo. Si el quemador no corta, se necesita arreglar y dar servicio al mecanismo de corte por nivel bajo. La prueba periódica y la purga del aparato evitarán depósitos, suciedad y óxidos que pueden dar como resultado la restricción del movimiento adecuado del mecanismo de corte por nivel bajo, y así se evitará que esto suceda cuando el aparato esté funcionando en condiciones de bajo nivel de agua.

La combinación del control del agua de alimentación y del corte del quemador por bajo nivel de agua, operando con un sensor o flotador de corte, es muy propenso a desarrollar el bajo nivel de agua si el elemento sensor llega a acumular suciedad y depósitos. Esta condición interrumpe la alimentación y también la protección por nivel bajo de agua. La mayoría de las jurisdicciones exigen un segundo corte de combustible independiente por bajo nivel de agua para evitar que uno de los mecanismos falle y ponga en peligro la caldera con posibles daños serios por recalentamiento, que pueden incluir una explosión de las partes metálicas debilitadas.

Los mecanismos de corte por bajo nivel tipo probeta pueden también ser comprobados si las probetas están montadas en una cámara separada que puede drenarse

independientemente del agua de la caldera. Si está montada dentro de la caldera, deberán seguirse las instrucciones de prueba y mantenimiento.

La mayoría de los mecanismos de corte requieren un desmontaje anual y un programa de limpieza, y esto está normalmente recomendado por los inspectores jurisdiccionales.

*Los controles de desconexión por presión y temperatura* son utilizados en calderas pequeñas automáticas para hacer el ciclo todo/nada con controles de presión usados en calderas de vapor y controles de temperatura en calderas de agua caliente. Véase la Figura 10.19. Los de límite superior son con rearme manual y son requeridos ahora por el código ASME de calderas, Sección IV, Calderas de Calefacción, y para calderas de alta presión con tasas de combustible de hasta 12.500.000 BTU/hr (3.150.000 kcal/hr), como se estipula en la norma ANSI/ASME CSD, titulada «Controles y dispositivos de seguridad para calderas automáticas». Mientras el control del límite superior, mostrado en la Figura 10.19c, es para presión, un control similar de límite superior, basado en temperatura se aplica para las calderas de agua caliente. Todos los requisitos de la norma ANSI/ASME CSD están cubiertos en el capítulo próximo, como también los requisitos sobre combustión y dispositivos de seguridad de combustión.

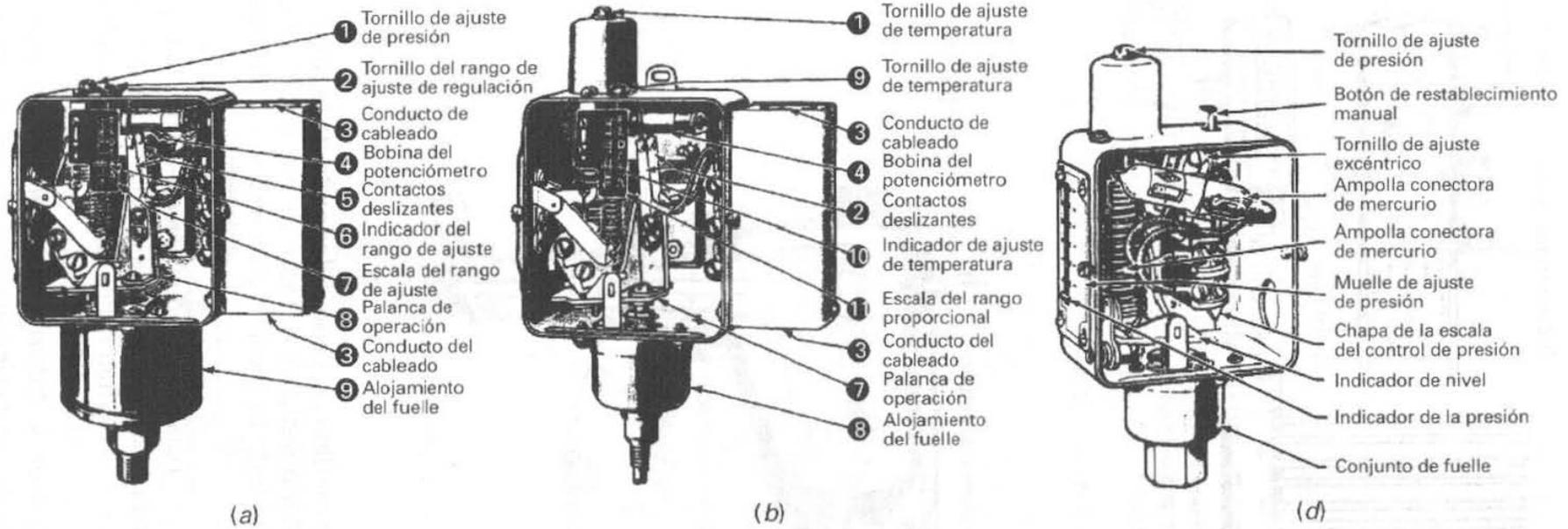
*Los controles todo/nada* se limitan a las calderas de tubos de humos y pequeñas calderas de tubos de agua. Como su nombre indica, una caída de presión actúa sobre un presostato o ampolla de mercurio para arrancar el alimentador o quemador de carbón y abrir la compuerta del aire o a la inversa, cerrar y cortar cuando la presión sube de nuevo. Como el control se limita a variar las duraciones de los períodos de funcionamiento y paro, la eficiencia de la combustión es baja. Un circuito típico de control de combustión para una caldera de calefacción de vapor tiene: control de corte por bajo nivel de agua y control de presión en serie eléctrica. Así, si un control abre, la corriente al motor del quemador se corta. El control principal o primario consta de un relé electromagnético activado por el termostato.

## **MEDIDA DE CAUDAL**

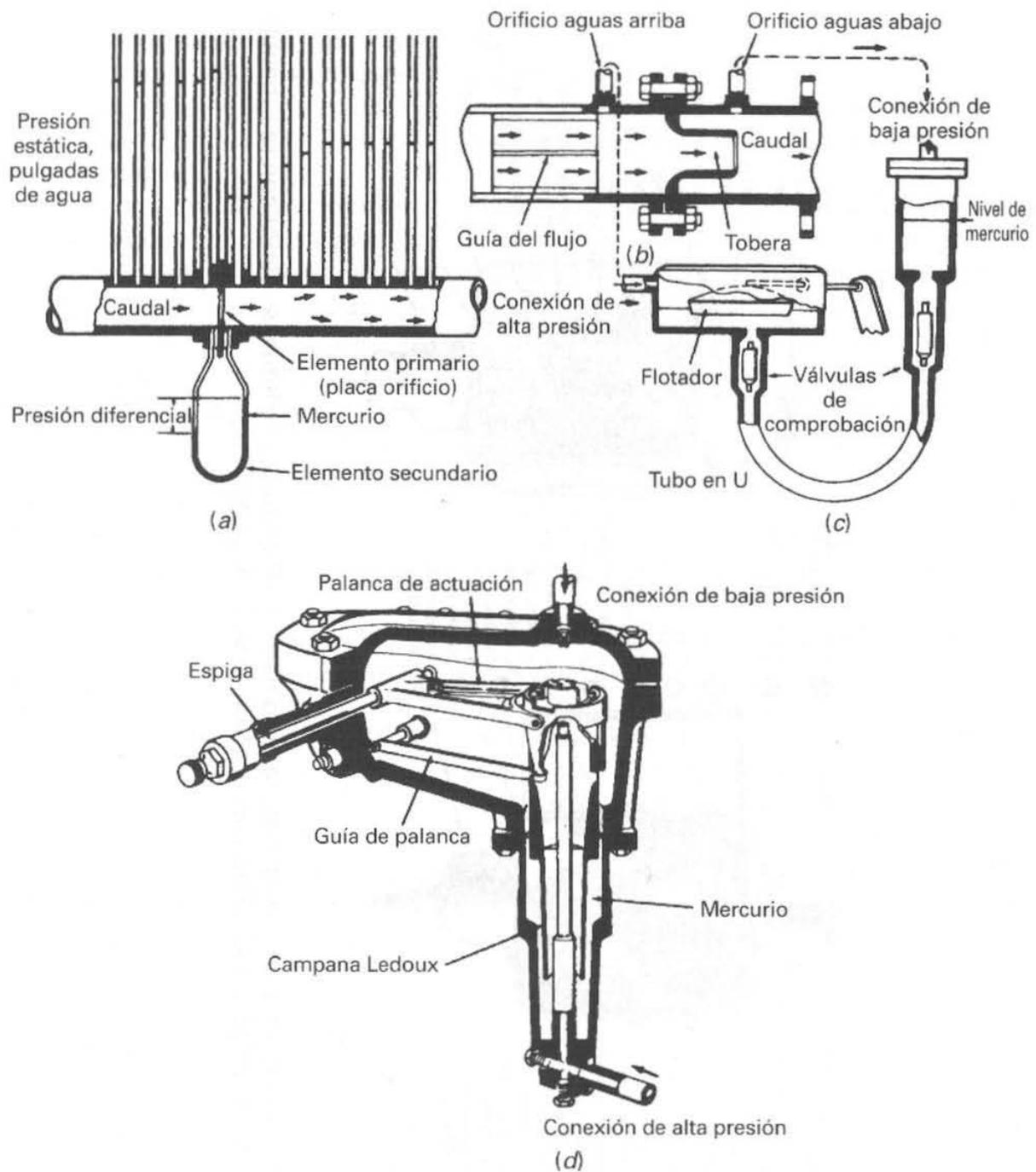
---

El principio fundamental de la medida de caudal se muestra en la Figura 10.20 de la página 388. La caída de presión a través de un orificio (o placa orificio), en este caso de una línea de vapor, puede medirse conectando un tubo en U a cada lado de la restricción. La presión diferencial resultante es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido. La situación correcta de los orificios es muy importante. Utilizando una restricción tipo tobera (Fig. 10.20b) se obtiene el mejor resultado (mayor presión diferencial para un caudal determinado) cuando las dos conexiones están situadas aproximadamente a un diámetro del tubo aguas arriba y medio diámetro aguas abajo de la cara de entrada de la tobera.

La conversión de una presión diferencial en una señal de salida utilizable puede hacerse de varios modos. Dos elementos secundarios ampliamente utilizados son un manómetro de flotador de mercurio (Fig. 10.20c) o un mecanismo de campana Ledoux (Fig. 10.20d). En la Figura 10.20c, los dos orificios de presión del elemento primario están conectados a dos cámaras de mercurio, unidas por un tubo en U. Las



**Figura 10.19.** (a) y (b) Controladores de presión y temperatura todo/nada. (c) Presostato de límite superior con reenganche manual. (Cortesía Minneapolis-Honeywell Regulator Co.)



**Figura 10.20.** (a) y (b) La medida de caudal depende de la presión diferencial a través de un orificio. (c) Manómetro de flotador de mercurio. (d) Un mecanismo Ledoux de campana convierte la presión diferencial en una señal de salida.

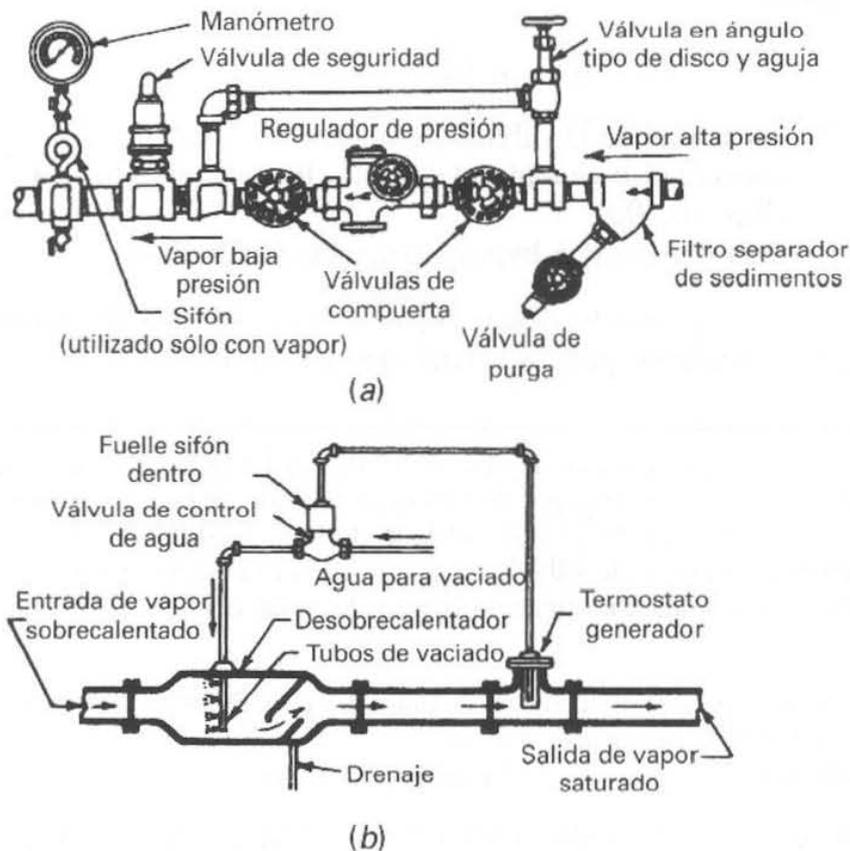
variaciones de presión suben y bajan el flotador. Un eje estanco a la presión convierte estos movimientos en una respuesta mecánica en el interior del controlador. Sen- das válvulas en los dos tubos en U evitan daños al mecanismo resultante de cambios repentinos o retrocesos en la presión diferencial.

Los *elementos auxiliares de la tubería de vapor* pueden incluir una estación reductora de presión y otra de desrecalentamiento, de las cuales se puede obtener menor presión o vapor saturado suministrado por calderas de alta presión.

**Estación reductora de presión.** Las válvulas reductoras de presión conocidas a veces como reguladoras de presión, se usan para suministrar vapor a presión constante menor que la de alimentación. Sus aplicaciones incluyen el suministro a procesos de fabricación, alimentación de agua a baja presión o recalentadores de fuel-oil y otras instalaciones auxiliares. Véase la Figura 10.21a.

Cuando las calderas de alta presión se usan para calentar aparatos a baja presión a través de una válvula reductora, es necesario resguardar la baja presión de la sobrepresión. Para guardarse de la sobrepresión, es fundamental instalar una válvula de seguridad del lado de la válvula reductora, con capacidad de caudal adecuada para poder absorber la capacidad o caudal de la válvula reductora. El ajuste de presión de la válvula de seguridad estará siempre basado en la presión máxima admisible del equipo más débil del lado de baja presión de la válvula reductora. La válvula de seguridad debería estar tan próxima como sea posible a la válvula reductora. En el caso de que haya varios recipientes en el lado de baja presión de la válvula reductora, no se combinan la totalidad de las válvulas de seguridad de cada recipiente. Deberá asumirse que sólo un recipiente puede estar operativo y, por otra parte, la capacidad total de descarga de todas las válvulas de seguridad puede estar sin protección.

La asociación NB ha diseñado el método siguiente para calcular capacidades requeridas en libras/hora (o kg/hr) en el lado de baja presión de una estación re-



**Figura 10.21.** Equipos auxiliares de las redes de vapor. (a) Disposición de la válvula reductora de vapor. (b) Desobrecalentador o desrecalentador de vapor con rociado de agua tratada.

ductora. Estas normas están deducidas de los principios termodinámicos que rigen el flujo a través de una tobera. Ha de suponerse un coeficiente de descarga (alrededor del 70 por 100). Compruebe con el fabricante de la válvula reductora el caudal máximo y después instale una válvula de seguridad de la capacidad recomendada. En lugar de los datos del fabricante, use la siguiente fórmula:

$$RVC = 1/3 \times OC \times VSPA \quad (10.1)$$

donde: RVC = capacidad o caudal de la válvula de seguridad requerida, libras de vapor/hora (o kg/hr).

OC = capacidad o caudal del orificio, lb de vapor/(hr/in<sup>2</sup>) (o kg de vapor/(hr/cm<sup>2</sup>)) (Fig. 10.22a).

VSPA = área de la válvula según tamaño de la tubería, pulgadas cuadradas (o cm<sup>2</sup>) (Fig. 10.22b).

Cuando una válvula reductora de presión está alimentada con vapor procedente de caldera, la capacidad de la válvula o válvulas de seguridad en el lado de baja presión del sistema no excederá de la capacidad de la caldera, por razones obvias.

La mayor parte de las válvulas reductoras de presión están montadas con una válvula de bypass, que también actúa como fuente de riesgo potencial del vapor en el caso de que se deje abierto el bypass. Cuando se utilice el bypass de la válvula, debería usarse la siguiente fórmula para determinar el caudal de vapor que pasa a través del bypass:

$$RVC = 1/2 \times OC \times BPA \quad (10.2)$$

donde: RVC = capacidad de la válvula de seguridad, libras de vapor/hora (o kg/hr).

OC = capacidad o caudal del orificio, lb de vapor/(hr/in<sup>2</sup>) (o kg/(hr/cm<sup>2</sup>)) (Fig. 10.19a).

BPA = área del tubo de bypass, pulgadas cuadradas (o cm<sup>2</sup>).

Deberá utilizarse para seleccionar el caudal de la válvula de seguridad el mayor de los caudales calculados por las ecuaciones 10.1 y 10.2.

**Ejemplo.** Una válvula reductora no tiene datos de caudal en su placa de características. Su tamaño es de 3" con presión de vapor de 125 psi en el lado de entrada y 30 psi en el lado de salida. ¿Cuál es la tara real de presión del lado de baja presión conectado al equipo? Determinar el ajuste y caudal de la válvula de seguridad para el lado de baja presión de la línea de vapor si la estación reductora tiene un bypass de 1" de diámetro. Utilizar los datos de la Figura 10.22.

**Solución.** Nótese que la válvula de 3" de diámetro tiene 7,39 in<sup>2</sup> de área interior, mientras que el bypass tiene 0,86 in<sup>2</sup> de área interna.

A través de la válvula reductora, el caudal posible será:

$$RVC = 1/3 \times OC \times VSPA = 1/3 \times 7.200 \times 7,39 = 17.736 \text{ lb de vapor/hr}$$

A través del bypass, el caudal posible es:

$$RVC = 1/2 \times OC \times BPA = 1/2 \times 7.200 \times 0,86 = 3.096 \text{ lb de vapor/hr}$$

Capacidades o caudales de descarga en lbs/hora y pulgada cuadrada para determinar el tamaño apropiado de las válvulas reductoras usadas en el lado de baja presión de las válvulas reductoras

Presión de salida, psi	Presión de entrada a la válvula reductora de presión, psi								
	125	100	85	75	60	50	40	30	25
110	4.550								
100	5.630								
85	6.640	4.070							
75	7.050	4.980	3.150						
60	7.200	5.750	4.540	3.520					
50	7.200	5.920	5.000	4.230	2.680				
40	7.200	5.920	5.140	4.630	3.480	2.470			
30	7.200	5.920	5.140	4.630	3.860	3.140	2.210		
25	7.200	5.920	5.140	4.630	3.860	3.340	2.580	1.485	
15	7.200	5.920	5.140	4.630	3.860	3.340	2.830	2.320	1.800
10	7.200	5.920	5.140	4.630	3.860	3.340	2.830	2.320	2.060
5	7.200	5.920	5.140	4.630	3.860	3.340	2.830	2.320	2.060

(a)

Diámetro nominal, pulgadas	Tamaños normalizados		
	Diámetro exterior real, pulgadas	Diámetro interior aprox., pulgadas	Área interna aprox., pulgadas <sup>2</sup>
3/8	0,675	0,49	0,19
1/2	0,840	0,62	0,30
3/4	1,050	0,82	0,53
1	1,315	1,05	0,86
1 1/4	1,660	1,38	1,50
1 1/2	1,900	1,61	2,04
2	2,375	2,07	3,36
2 1/2	2,875	2,47	4,78
3	3,5	3,07	7,39
3 1/2	4,0	3,55	9,89
4	4,5	4,03	12,73
5	5,563	5,05	19,99
6	6,625	6,07	28,89
8	8,625	8,07	51,15
10	10,750	10,19	81,55
12	12,750	12,09	114,80

(b)

**Figura 10.22.** Tablas para determinar las capacidades o caudales de las válvulas reductoras de presión. (a) Caudal o capacidad en libras por hora y por pulgada cuadrada de área de válvula reductora y presión de entrada y salida. (b) Diámetros nominales de tubería estándar, diámetros internos y áreas en pulgadas cuadradas.

La válvula de seguridad tendrá una presión de ajuste de 30 psi (2,1 kg/cm<sup>2</sup>) y un caudal de 17.736 Lb/hr (7.981 kg/hr).

---

**Desobrecalentadores (o desrecalentadores).** Las grandes unidades de generación eléctrica están diseñadas para operar más eficientemente con un grado de recalentamiento alto. Pero las unidades pequeñas de vapor auxiliar están diseñadas a menudo para trabajar con temperatura de vapor saturado, para la utilización de vapor sobrecalentado requieren más costes de construcción con respecto al beneficio y control de expansión rotatorio que estaría garantizado incluso cuando se compara con la posible reducción de los costos operativos.

Mejor que operar con una línea separada de vapor de la caldera, y estar así más pendiente del sobrecalentador, a menudo es más práctico pasar todo el vapor por el calderín del sobrecalentador (especialmente para el control de temperatura) para uso de los auxiliares. Esta pequeña línea pasa vapor a través del desrecalentador (Fig. 10.21b) que rocía una cantidad proporcional de agua tratada en el flujo o caudal de vapor. Esta proporción está regulada de forma que la cantidad de recalentamiento a retirar será igual (o no totalmente igual) a la cantidad de calor necesario para evaporar todo el agua añadida para hacer vapor saturado.

---

## **MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS Y CONTROLES VARIADOS**

---

Las plantas de calderas pueden variar desde las viejas plantas con piezas de mantenimiento simple y fácil hasta las más modernas que utilizan señales digitales para mostrar valores en pantalla con microprocesadores haciendo cálculos para ajustar controles y para mejorar de resultados económicos y operativos. Es esencial para los operadores y personal de mantenimiento, comprender sus sistemas y conocer si son posibles los ajustes por la propia capacidad de la planta. Los dispositivos más comunes encontrados en las plantas más viejas son dispositivos analógicos y controles discretos, definidos como sigue:

1. *Controles discretos* activan dispositivos desde una magnitud singular, como presión, y esta información está conectada y distribuida a una válvula solenoide, válvula reguladora o bobina para una acción que es básicamente todo/nada, arranque/parada o marcha/no marcha.

2. En *controles analógicos*, una cantidad se mide sobre un rango o amplitud de valores dinámicos y las medidas van siguiendo la pista a estos valores y transmitiendo señales a un controlador para cambiar su ajuste de modo que los valores de ajuste deseados se obtienen de modo análogo a los valores deslizantes. Los controles analógicos normalmente son hidráulicos o neumáticos. Los instrumentos para ambos controles, discretos y analógicos, están montados en paneles o cuadros con registradores de valores circulares y diales indicadores para guiar al operador al hacer sus ajustes cuando sea necesario. La llegada de los transmisores electrónicos ha permitido mayores espacios para transmitir los valores medidos desde la zona de operación a las salas centrales de control. Por ejemplo, un voltímetro mostrará tensión en un rango de 0 a 300 voltios sobre un sistema de 250 voltios para que la aguja indicadora se mueva suavemente a medida que el valor cambia.

Los requerimientos de mantenimiento para operarios con dispositivos analógicos están limitados a unos ajustes menores periódicos, si los dispositivos no están sellados, y a un mantenimiento de limpieza y orden de marcha. Las unidades selladas deben sustituirse totalmente si fallan. Los ajustes deberían seguir las instrucciones del fabricante. La comprobación del dispositivo debería realizarse con una fuente de referencia normalizada o test de prueba que dé la lectura exacta que el dispositivo debería tener. Si es necesario, los ajustes tendrán que ser realizados por un técnico cualificado o bien se devuelve el dispositivo al fabricante para su ajuste o reemplazo.

Los dispositivos de control y registro neumático deben también ser mantenidos y comprobados para anotar si funcionan correctamente. Esto incluye a compresores, secadores de aire, depósitos de almacenaje y reguladores de presión. El aire debe mantenerse limpio y seco en todo momento para que los sistemas neumáticos trabajen adecuadamente.

3. *Los dispositivos digitales* cambian los valores mostrados en los equipos e instrumentos en forma de impulsos a partir de una fuente exterior. El valor de un sensor analógico se convierte mediante un pequeño microprocesador o dispositivo similar tipo ordenador en un impulso que puede transmitirse por medio de una baja tensión en el equipo modular en forma digital. Los requisitos de mantenimiento de un equipo digital incluyen la limpieza periódica del sensor para asegurarse de que ningún impedimento pueda afectar su precisión o funcionamiento. La precisión debería comprobarse por medio de una normativa o bien con instrumentos de control fiables. El microprocesador o convertidor de señal no es propenso a deformaciones, y así prácticamente apenas requiere ajustes.

El mantenimiento de los equipos a los que se envían las señales desde el ordenador puede necesitar el apoyo de un elemento electrónico para analizar y localizar defectos en los componentes del equipo o pantalla. Algunos equipos llevan paneles o placas separadas para sustitución inmediata de componentes y reenvío de los defectuosos al fabricante para su reparación o cambio por otros reparados o nuevos. Así se efectúan las reparaciones.

4. *La transmisión de datos* puede ser por: a) sistemas de telemetría, comprendiendo un transmisor y un receptor, que requieren suministro de corriente continua. Algunos usan baterías. El suministro de energía necesita comprobación periódica para un funcionamiento correcto. Las líneas telefónicas pueden utilizarse entre el transmisor y el receptor. b) Mediante líneas de cable y fibra óptica en paralelo con la utilización de líneas telefónicas. c) Mediante otro control remoto de la operación tal como sistemas de radio o satélite. Algunos de sus problemas son la limitación de localización de torres e interferencia de las frecuencias adyacentes que pueden requerir equipos sofisticados de investigación si se presentan problemas.

Todos los equipos de tipo de telemetría necesitan monitorización. Sin embargo, como los equipos son electrónicos, sólo es posible un ajuste muy pequeño, y los «chips» o componentes generalmente se sustituyen. Las unidades transmisora y receptora requieren comprobar la adecuación de su refrigeración. Los reparadores de estos equipos deberán ser personal cualificado. El fallo de un componente es detectable inmediatamente por el fallo en las señales transmitidas.

**Sensores y controles.** Todo el equipo electrónico y *hardware* que está implicado en un sistema de control depende en su rendimiento de la disponibilidad de los sensores

para medir variables, de su precisión en obtener esta información y transmitirlo a un ordenador controlador programable. Hay muchas magnitudes físicas para cuya medida todavía no se han desarrollado los sensores adecuados. Una de éstas es por ejemplo un lector continuo o registrador del poder calorífico de un combustible. Hay que efectuar otras medidas para compensar esta carencia, de modo que esta información puede utilizarse para regular la entrada de combustible a un sistema de calderas.

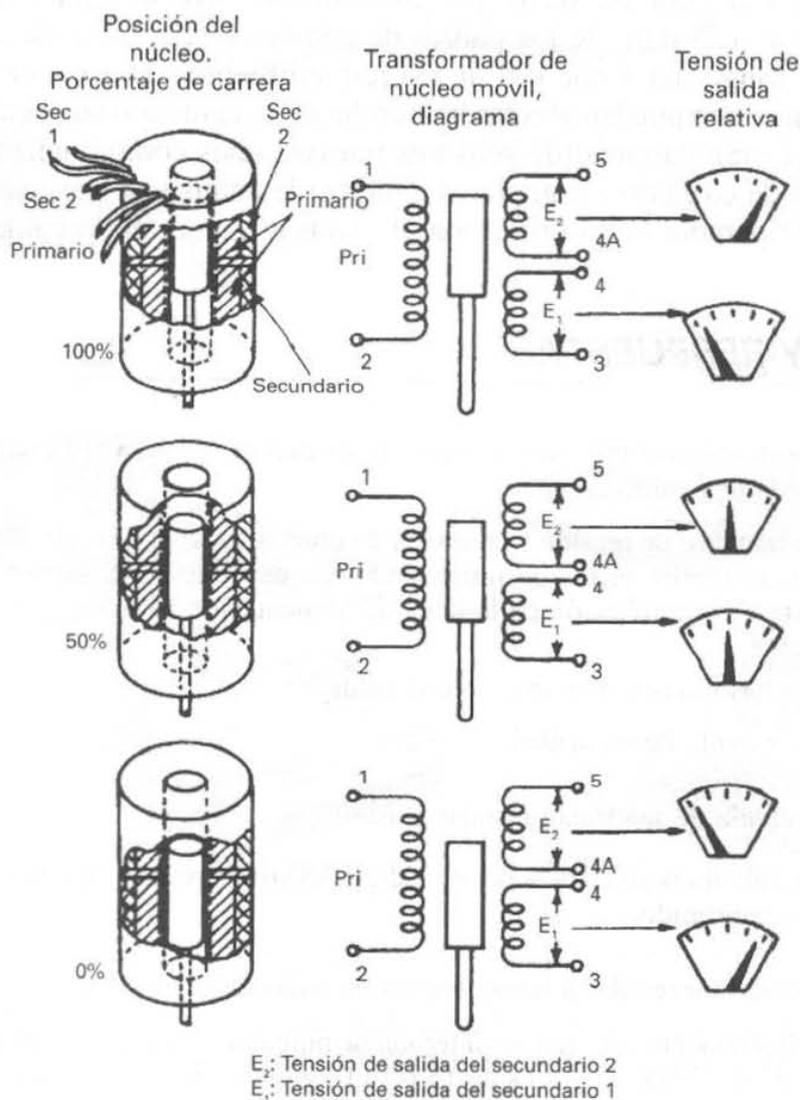
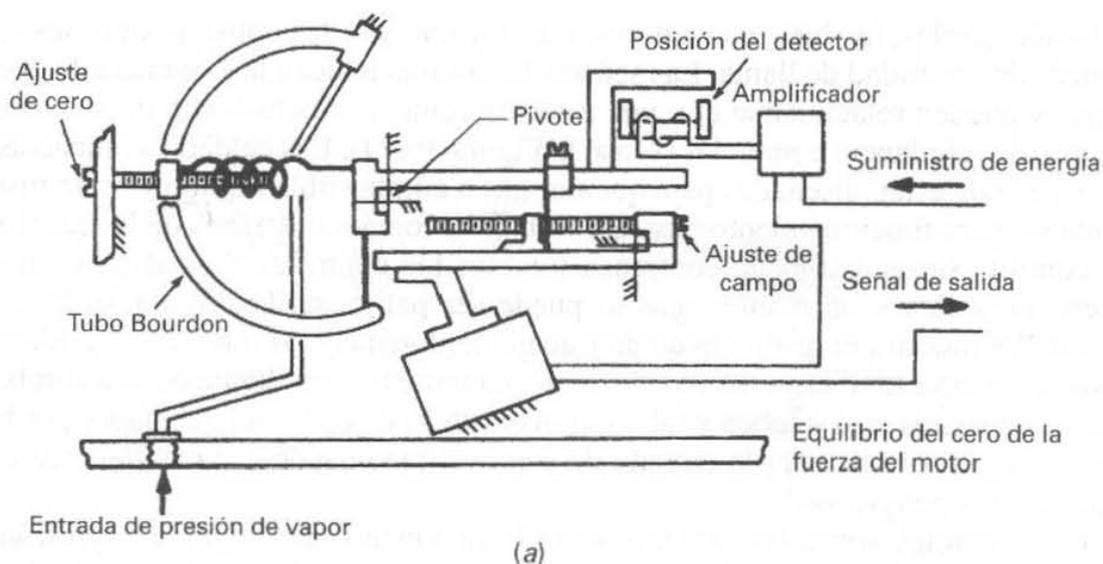
La llegada de los circuitos electrónicos de control ha puesto de manifiesto las aplicaciones de esta tecnología a los controles de caldera que están variando continuamente según los métodos de control de caldera. Éstos están siendo acelerados por el desarrollo de sensores más fiables para detectar las condiciones de operación que las calderas, instrumentos y registradores que convierten las «lecturas» de los sensores en señales electrónicas que se transmiten a indicadores remotos, así como a controladores, y que se muestran en pantallas en la sala central de control o en la sala de mando del sistema. Con la llegada del cable de fibra óptica, incluso es posible la transmisión de datos a largas distancias.

*Los sensores* son dispositivos que tienen la capacidad inherente de monitorizar cambios en el medio que está siendo medido, tal como temperatura, presión, caudal, nivel, tiro, porcentaje de  $\text{CO}_2$  y cantidades similares. Los transductores se utilizan para convertir los cambios anotados por un sensor en una señal eléctrica o neumática. Estas señales se envían a los controles, que están tarados o ajustados para regular una cantidad dentro de los límites de ajuste. Las señales se comparan con estos puntos de ajuste y, si es necesario, una señal está ligada a un actuador, de modo que el control del medio se mantenga dentro de los límites de ajuste. Algunos controles incorporan el sensor, el actuador y el traductor en un solo dispositivo de control autocontenido.

La Figura 10.23*b* ilustra cómo un tipo de dispositivo puede transmitir una presión eléctricamente a un equipo indicador registrador y controlador en un punto cercano o remoto usando el equipo de transmisión y además mostrar la presión medida en cada punto y situación. El dispositivo ilustrativo tiene un tubo Bourdon que posiciona un núcleo móvil de un transformador, desde la presión 0 a la de diseño. La posición del núcleo determina la ligazón del flujo magnético entre los arrollamientos primario y secundario, lo que en efecto cambia la tensión en el secundario con las variaciones de presión. Esta tensión puede transmitirse a receptores estándar electrónicos para su uso posterior en aplicaciones de control, registro de datos, entrada al ordenador y aplicaciones similares.

En la figura, la tensión inducida en cada arrollamiento secundario es proporcional al desplazamiento del núcleo desde su posición central; así, la posición del núcleo determina la señal de tensión de salida. Al 100 por 100 de carrera, la tensión  $E_2$  es mayor que  $E_1$ , ya que el núcleo está cerca de la parte superior del transformador. Al 50 por 100 de carrera, las tensiones  $E_1$  y  $E_2$  están igualadas, ya que el núcleo está centrado entre los dos arrollamientos secundarios. La tensión de salida en los arrollamientos secundarios puede calibrarse para lectura proporcional de presión en el receptor final.

Las calderas compactas del tipo de tubos de humos generalmente proporcionan funcionamiento totalmente automático con el uso de los controles. El «paquete» estándar incluye una cabina de control compacta que contiene los arrancadores de



**Figura 10.23.** Transmisión eléctrica de lecturas de presión. (a) Dispositivo a prueba de explosión de tubo Bourdon para salida eléctrica. (b) Transformador diseñado para transmitir eléctricamente medidas de presión.

los motores, relés, fusibles, disyuntores, transformadores de control y controles electrónicos de seguridad de llama. Las señales luminosas indican la secuencia de operaciones y pueden relacionarse con una estación remota o incluso con un sistema de seguridad y vigilancia comercial (véase la Figura 10.24). Las calderas compactas de tubos de agua están diseñadas para quemar gas o combustible líquido y están instrumentadas para funcionamiento básico y trabajo automático a través de la tecnología del control. Sin embargo, la confianza total en los controles automáticos sin una prueba periódica y un mantenimiento puede ser peligrosa. La Figura 10.25 de la página 398 muestra el resultado de un trabajo negligente. Los tubos de la caldera de tubos de agua se fundieron debido al sobrecalentamiento resultante de una combinación de depósitos en los tubos y fallo del dispositivo de corte del quemador por bajo nivel de agua para detener la entrada de combustible cuando el nivel de agua cayó hasta niveles peligrosos.

Los controles sobre las calderas se utilizan mucho para regular la presión de vapor y la carga del 1 al 2 por 100 de los puntos de diseño-nivel de agua del calderín de vapor dentro de 1" (25 mm) de los puntos de consigna, relaciones de aire/combustible dentro del rango del 5 por 100 de los requerimientos del exceso de aire y muchas más variables que pueden afectar la marcha de la caldera o su seguridad. Se ha desarrollado una gran cantidad de sensores nuevos, tales como analizadores de sodio, analizadores de oxígeno y completos equipos de análisis de gases en chimenea para ayudar al operador en la operación eficiente y segura de la caldera.

## **PREGUNTAS Y RESPUESTAS**

---

1. ¿Cuáles son los accesorios mínimos y dispositivos necesarios para el funcionamiento seguro y fiable de una caldera?

RESPUESTA: Manómetro de presión y conexión de prueba, válvula de seguridad, válvula de purga, nivel de vidrio, grifos de prueba, válvula de corte en la línea de vapor y válvulas de corte y comprobación en la línea de alimentación de agua.

2. ¿Cuál es el accesorio más importante de una caldera?

RESPUESTA: La válvula de seguridad.

3. ¿Qué tipo de válvula de seguridad instalaría usted?

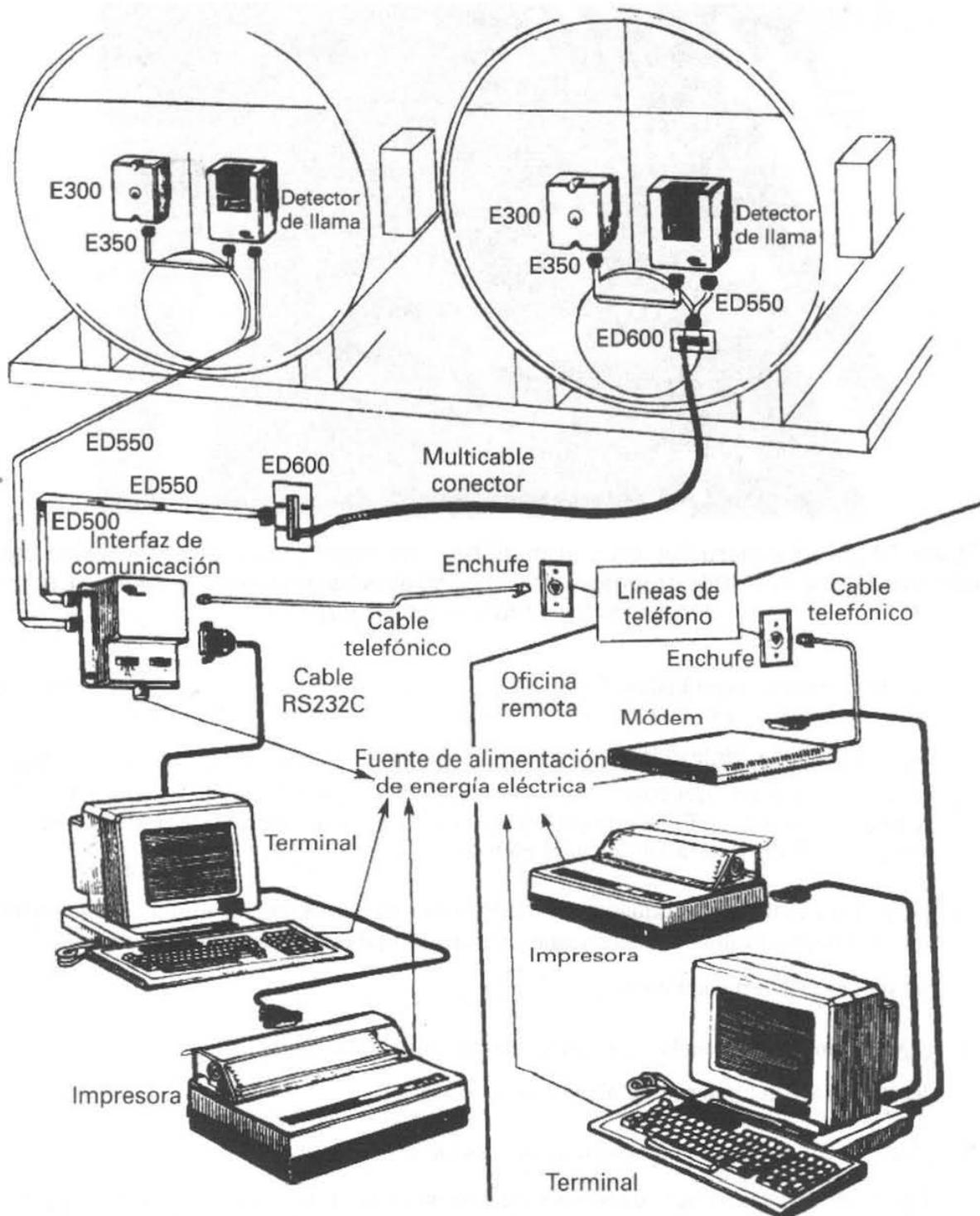
RESPUESTA: La válvula normalizada por el código ASME de resorte directo con descarga por muelle comprimido.

4. ¿Cómo deben estar conectadas a la caldera las válvulas de seguridad?

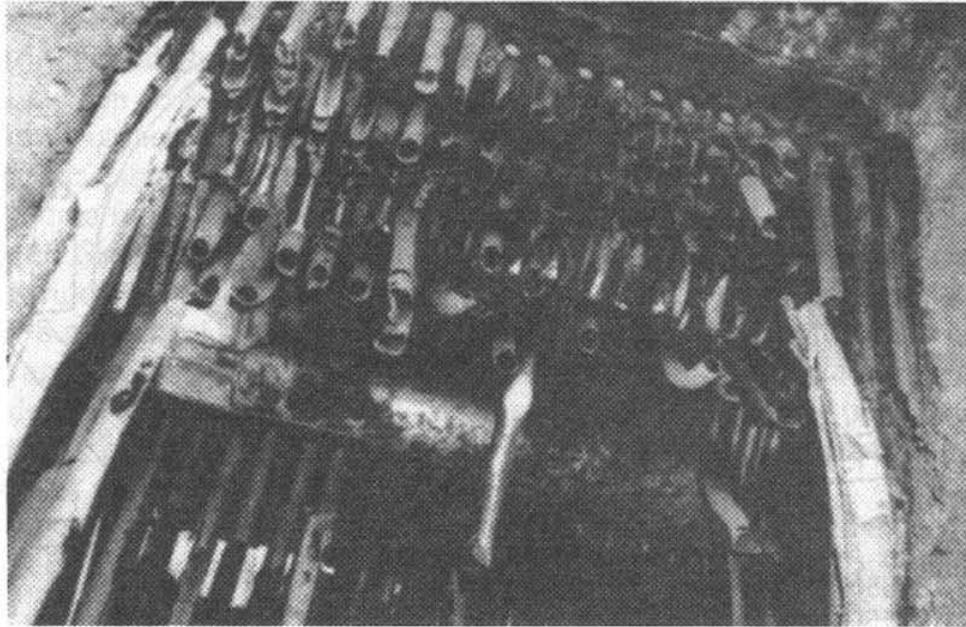
RESPUESTA: Directamente sin que se interponga ninguna válvula de ningún tipo. Si sobrepasan los 3" de diámetro y más de 15 psi (1 kg/cm<sup>2</sup>), las válvulas deberán ser de bridas.

5. ¿Cuál debería ser el diámetro máximo para las válvulas de seguridad?

RESPUESTA: El Código de Calderas específica 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>".



**Figura 10.24.** Un sistema de gestión del quemador basado en un microprocesador puede interconectarse a un terminal de ordenador, incluyendo oficina remota, y teniendo también un centro de informes y mensajes para visualizar y controlar los distintos límites. (Cortesía de Fireye Products, subsidiaria de Allen-Bradley.)



**Figura 10.25.** La incrustación y el nivel bajo de agua provocaron la fusión del tubo por falta de mantenimiento y de los controles básicos de la caldera. (Cortesía de *Factory Mutual Engineering*.)

6. ¿Como difieren los requisitos de las válvulas de seguridad que descargan vapor sobrecalentado a más de 450 °F (232 °C) de las demás de calderas con calderín de vapor?

RESPUESTA: Deberían tener su conexión por medio de bridas en todos los casos y para todos los tamaños. Deberían estar construidas en acero o aleación adecuada para la temperatura máxima. El resorte deberá ser visible de modo que no esté o pueda estar en contacto con el vapor a temperatura elevada.

7. ¿Con una válvula de seguridad de 4" de diámetro, cuál es el tamaño mínimo de la tobera o tubo conectado directamente y qué diámetro de tubo de escape debería usarse?

RESPUESTA: 4" en cada caso.

8. ¿Qué elemento de prueba se requiere en las válvulas de seguridad?

RESPUESTA: Una palanca de elevación (y descarga).

9. ¿Qué se entiende por contrapresión de soplado (en retroceso)?

RESPUESTA: Es el número de libras/pulgada cuadrada (o de  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) de caída de la presión de vapor a partir del punto en que la válvula de seguridad abre hasta la presión a la cual vuelve a cerrar.

10. ¿Qué elemento controla la contrapresión de soplado?

RESPUESTA: El anillo de ajuste del soplado (o contrapresión de retroceso).

11. ¿Qué es la cámara de mezcla?

RESPUESTA: Es una cámara que expone el lado inferior del disco de asiento de la válvula, en una válvula de seguridad, a una zona de presión incrementada en su empuje

primario. La presión actuando sobre el área incrementada da como resultado la descarga o empuje secundario.

12. ¿Qué principio de algunas válvulas de seguridad se usa en lugar del área expuesta incrementada por la cámara de mezcla?

RESPUESTA: El principio de reacción.

13. ¿Por qué invertir en la instalación de cámaras de mezcla o reacción del caudal para descargar las válvulas de seguridad?

RESPUESTA: Sin semejante instalación, una gradual elevación y asiento de la válvula arruinaría el asiento de la válvula debido al efecto cortante o de cizalladura del vapor.

14. ¿Cuándo se requiere más de una válvula de seguridad en una caldera?

RESPUESTA: Si la caldera tiene más de 500 pies cuadrados (45 m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción o más de 500 kilovatios de potencia si se trata de una caldera eléctrica.

15. ¿Cuál es el objeto de la columna de agua?

RESPUESTA: Facilitar la turbulencia del agua entre el calderín y el nivel de vidrio de modo que su nivel pueda determinarse con más precisión.

16. ¿Qué tipo de uniones están permitidas en las conexiones de los tubos a las columnas de agua? ¿Por qué se limita el número de conexiones o uniones?

RESPUESTA: Las de los manómetros, reguladores de compuerta, regulador del agua de alimentación, drenajes, indicadores de nivel o uniones semejantes que se toman como de flujo despreciable. Un flujo apreciable podría falsear la indicación del nivel de agua.

17. ¿Dónde deberá estar situado el nivel de vidrio?

RESPUESTA: En una posición fácilmente visible con su punto inferior o más bajo situado al menos 2" (50 mm) por encima del menor nivel de agua seguro de la caldera.

18. 1. ¿Qué son los grifos de nivel o grifos de prueba?  
2. ¿Cuántos hay y dónde deberían estar?

RESPUESTA:

1. Los grifos de prueba se usan para señalar el nivel de agua en una caldera como comprobación del nivel de vidrio.
2. Dos son los necesarios en calderas de locomotora de hasta 36" (915 mm) de diámetro o en calderas de hogar interior y caja de fuego de hasta 5 HP. Se necesitan tres en todas las demás calderas de más de 15 psi (1 kg/cm<sup>2</sup>) de presión. Estarán localizados equidistantes y dentro del espacio visible del nivel de vidrio de agua. No se necesita probar los grifos si los dos niveles de vidrio están instalados al mismo nivel y separados al menos dos pies (0,6 m) en la caldera.

19. ¿Por qué se necesita drenaje en la columna de agua y por que deberá ser al menos de 3/4" de diámetro?

RESPUESTA: Para permitir eliminar el sedimento que pudiera bloquear la conexión inferior y producir una lectura o indicación del nivel de agua falsa. Los tamaños inferiores se podrían obstruir más fácilmente.

20. ¿Por qué no es deseable la válvula de globo para control de drenaje de una columna de agua?

RESPUESTA: Porque la compuerta o asiento en este tipo de válvula forma un remanso natural para los sedimentos y suciedad.

21. ¿A qué tres propósitos debe servir una válvula de purga?

RESPUESTA: Eliminación de lodos y sedimentos, control de la concentración de sólidos en el agua de caldera y control de emergencia de niveles anormalmente elevados de agua.

22. ¿Seleccionaría usted codos de fundición o acero en una línea de purga entre la caldera y la válvula?

RESPUESTA: La fundición está permitida hasta 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>). Se precisa acero para todas las presiones por encima de 15 psi (1,05 kg/cm<sup>2</sup>).

23. ¿Sobre qué principio operan la mayoría de los manómetros de presión?

RESPUESTA: Sobre el principio del tubo Bourdon; esto es, un tubo curvado tiende a enderezarse cuando se le somete a presión interna.

24. Describa un fusible de caldera.

RESPUESTA: Es una pieza cilíndrica de bronce taladrada y roscada que tiene un núcleo de estaño casi puro. Un fusible se instala en la parte segura y más baja del nivel de agua en algunas calderas de baja y media presión con el circuito final o base taladrada del fusible expuesta a los gases de combustión en su primer paso. A medida que el nivel de agua se aproxima a un nivel peligrosamente bajo, el núcleo está diseñado para que se funda (el estaño) y escape vapor al hogar o caja de humos haciendo ruido y produciendo alarma visual (vapor) y acústica (ruido).

25. ¿Dónde y por qué se precisan aberturas con autocierre sobre las puertas del hogar o caja de fuego?

RESPUESTA: En las calderas de tubos de agua, para evitar que las puertas se abran por un soplido o aumento rápido de la presión positiva de un hogar como resultado de roturas de tubos de agua, explosiones de gas, etc.

26. ¿Dónde y por qué se requiere un sifón en la línea de presión de los manómetros?

RESPUESTA: Es un rabo de cerdo o anillo en la tubería del manómetro, diseñado para retener el condensado y evitar que el vapor vivo entre en el tubo. Esto evita que el tubo, muelles y otras piezas delicadas estén sometidas a temperaturas elevadas.

27. Una caldera de alta presión tiene 2 válvulas de seguridad. ¿Cuál es el rango de ajuste de presiones permitido para éstas.

RESPUESTA:

1. Una de las válvulas de seguridad debe ajustarse a o por debajo de la presión máxima admisible de la caldera.
2. El ajuste de la presión máxima de cualquier válvula de seguridad no puede exceder de la presión máxima de trabajo admisible en la caldera en más de un 3 por 100.

3. El rango de ajuste de presión de todas las válvulas de seguridad de todas las calderas de vapor saturado no podrá exceder del 10 por 100 de la presión más elevada ajustada en la válvula.

28. Una válvula de seguridad en una caldera de vapor de baja presión no tiene tubo de salida de descarga de seguridad. ¿Cuál es el peligro?

RESPUESTA: El trabajo u operación de la válvula puede escaldar a la persona que esté cerca de la salida de la válvula de seguridad y también puede dañar al equipo, como por ejemplo al material eléctrico situado cerca de la salida de la válvula de seguridad.

29. ¿Cómo puede el nivel de agua de vidrio en una caldera indicar un nivel falso de agua?

RESPUESTA: Puede haber obstrucciones en la conexión del nivel de agua, en la columna de agua o en la tubería de conexión de la columna con la caldera.

- \*30. ¿Para qué tipo de instalación de caldera puede cerrarse el nivel de agua de vidrio en funcionamiento?

RESPUESTA: Para calderas con válvulas de seguridad en el calderín ajustadas por encima de 400 psi (28 kg/cm<sup>2</sup>) y equipadas con dos indicadores de nivel de agua remotos y fiables; el nivel de vidrio puede cerrarse pero debe mantenerse en condiciones de servicio todo el tiempo.

31. ¿Qué puede inducir al agua en un nivel de vidrio a oscilar arriba y abajo de manera errática?

RESPUESTA: El agua de la caldera puede estar sucia y tener óxidos o escamación flotando, que puede perder constancia y romper el nivel. La purga de la columna de agua de la caldera y la apertura del drenaje del nivel de vidrio eliminarán las posibles obstrucciones de las conexiones del nivel de vidrio. También la comprobación de fugas o pérdidas de la caldera que puedan producir pérdidas de agua y problemas de aportación o alimentación. La sobrecarga en la caldera de manera esporádica puede causar una fluctuación rápida. Si ninguna de estas circunstancias es la causa, la caldera puede requerir una parada para tratar de localizar algún daño interno mediante una inspección.

32. ¿Qué es un purgador y dónde esperaría usted encontrarlo en una instalación de calderas?

RESPUESTA: Es un dispositivo diseñado para separar y retirar el condensado del espacio de vapor con un mínimo de pérdida de vapor. Un purgador se usa a menudo en los puntos bajos de embolsamiento o separadores de aire de las líneas de vapor.

33. ¿Cuál es el concepto de una válvula reductora o reguladora de presión? ¿Dónde encontraría usted alguna?

RESPUESTA: Sirve para reducir una presión disponible a otra menor constante y deseada. Por ejemplo, una línea de vapor que trabaja a 400 psi (28 kg/cm<sup>2</sup>) para generación eléctrica tiene que suministrar a un ramal para un calentador tubular diseñado para 75 psi (5,25 kg/cm<sup>2</sup>). Una válvula reductora debería instalarse en esa línea para mantener la presión del calentador dentro de los límites prescritos. También se necesitaría en el lado de baja presión una válvula de seguridad ajustada a 75 psi (5,25 kg/cm<sup>2</sup>) con una capacidad igual a la de la válvula reductora en libras de vapor/hora (kg de vapor/hora) y un manómetro para señalar si la válvula reguladora está funcionando.

34. ¿En qué tipos de caldera pueden utilizarse las válvulas motorizadas reductoras de presión, y cuál es la definición de una válvula reductora o aliviadora de presión motorizada?

RESPUESTA: Véase la Sección I del código ASME de calderas. Las válvulas monitorizadas reductoras de presión están permitidas en generadores de vapor de caudal o flujo forzado (circulación forzada) sin distinción entre línea de vapor y línea de agua. Estas válvulas se definen como válvulas cuyo movimiento de apertura o cierre está totalmente controlado por una fuente de energía exterior, como aire, vapor o hidráulica. Pueden descargar sobre líneas o secciones de presión intermedias de un generador de vapor de circulación de vapor serie forzada. Están equipadas para abrir por medio de un control de señal de impulsos cuando se alcanza la presión máxima admisible en la salida del vapor sobrecalentado.

35. ¿Pueden incluirse las válvulas de seguridad del sobrecalentador en la capacidad total de descarga requerida para un generador de vapor si se consideran como parte del circuito y caudal de gases de la caldera?

RESPUESTA: Si no hay ninguna válvula entre sobrecalentador y caldera, la capacidad o caudal de las válvulas de seguridad puede incluirse en el total requerido para el generador de vapor; sin embargo, la capacidad máxima permitida del sobrecalentador es 25 por 100 del total requerido para la caldera.

36. ¿Bajo qué condiciones se permiten válvulas de corte en las tuberías de conexión entre caldera y columnas de agua?

RESPUESTA: Siempre que sean válvulas rectas de espiga o varilla saliente o grifos de posición determinada y clara abierta/cerrada. Deberían ser de tipo de cierre/apertura estanca.

37. ¿Por qué se necesitan válvulas de comprobación en la línea de alimentación de agua?

RESPUESTA: Para que la presión de la caldera no fuerce al agua a retroceder en caso de fallo de la tubería; también para ayudar en el funcionamiento de la bomba o inyector de alimentación (en el caso de válvulas antirretorno).

38. ¿Cuáles son el mínimo y máximo tamaños permitidos para válvulas o conexiones de purga?

RESPUESTA: Mínimo: 1" (25,4 mm) de diámetro; máximo: 2 1/2" (63,5 mm) de diámetro, excepto para calderas con superficie de calefacción de 100 pies cuadrados (9 m<sup>2</sup>) o menos, donde se permite un tamaño mínimo de 3/4" (19 mm).

39. ¿Qué son los deflectores y cuándo se necesitan sobre la puerta o compuerta de explosión?

RESPUESTA: Son chapas metálicas colocadas enfrente de las puertas de explosión (o trampillas) de una caldera para desviar cualquier soplido de los pisos o suelos de trabajo, escaleras, plataformas o cualquier otra zona de paso.

40. ¿Qué fuerza opera sobre la compuerta de los purgadores?

RESPUESTA: La gravedad.

41. ¿De qué material están hechos los purgadores y sus flotadores o compuertas?

RESPUESTA: De metal resistente a la corrosión.

42. ¿Por qué un purgador del retorno debe ventear a la atmósfera después de cada descarga?

RESPUESTA: Porque el cuerpo está a una presión mayor que la del retorno del condensado, y el retorno debe mantenerse cerrado. Venteeando el purgador a la atmósfera, los retornos pueden fluir libremente en el purgador hasta que oscile y cierre la válvula.

43. a) ¿En qué unidades está graduado el vacuómetro.  
b) ¿Cuál es la relación entre estas unidades y las libras por pulgada cuadrada (psi)?

RESPUESTA:

- a) En pulgadas (o milímetros) de vacío de mercurio (Hg).  
b) Cada pulgada de mercurio equivale a 0,49 psi por debajo de la presión atmosférica (14,7 psi (10,29 kg/cm<sup>2</sup>) a nivel del mar.

44. ¿Qué es un manómetro compuesto?

RESPUESTA: Uno que dé una lectura positiva de presión en lb/in<sup>2</sup> (kg/cm<sup>2</sup>) por un lado y negativa (vacío) en pulgadas (cm) de mercurio por el otro lado.

45. ¿En previsión de qué cuatro detalles de instalación debe hacerse en una línea de vapor que transmite vapor a una distancia considerable de la caldera?

RESPUESTA: Aislamiento, dilatación, soporte y drenajes.

46. ¿Puede incluirse la capacidad o caudal de una válvula de seguridad de sobrecalentador en la capacidad total requerida del generador de vapor?

RESPUESTA: La capacidad o caudal de esa válvula de seguridad no puede incluirse. Nótese, sin embargo, que la capacidad total de la válvula del sobrecalentador debe ser igual a la capacidad o caudal de diseño a través del sobrecalentador. Debe haber en toda salida del sobrecalentador una válvula de seguridad con capacidad no menor del 15 por 100 del total requerido para el recalentador.

47. Una caldera ASME tiene 650 pies cuadrados (59 m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción. En una caldera construida para 150 psi (10,5 kg/cm<sup>2</sup>) la válvula de seguridad está tarada a 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>). Se utilizan dos sistemas de alimentación de agua a caldera, presión municipal de red a 110 psi (7,7 kg/cm<sup>2</sup>) y una bomba. Se desea operar la caldera a 150 psi (10,5 kg/cm<sup>2</sup>). ¿Qué recomendaría hacer usted y por qué?

RESPUESTA: Hay que recomendar muelles nuevos para las válvulas de seguridad. Hay que recomendar un medio adicional de alimentación de caldera (bomba o inyector) ya que la presión municipal a 110 psi (7,7 kg/cm<sup>2</sup>) no es la adecuada. Los accesorios pueden ser satisfactorios para 150 psi (10,5 kg/cm<sup>2</sup>). Se necesitan dos válvulas de purga cuando la presión es superior a 100 psi (7 kg/cm<sup>2</sup>). El manómetro frontal deberá tener escala de aproximadamente 250 psi (17,5 kg/cm<sup>2</sup>).

48. En una caldera trabajando a una presión de 65 libras (4,6 kg/cm<sup>2</sup>), ¿cuál es el menor tamaño de conexiones de alimentación y purga si la válvula de seguridad está cargada a 90 psi (6,3 kg/cm<sup>2</sup>)?

RESPUESTA: 1/2" de diámetro de alimentación de agua; 3/4" de diámetro de purga.

49. ¿Bajo qué condiciones se permiten válvulas de corte o grifos en las conexiones a la columna de agua?

RESPUESTA: Deben ser del tipo de espiga roscada sobresaliente al exterior (de compuerta) o grifos de cierre con palancas siempre acopladas y señalando con su posición el paso o no paso de agua.

50. a) ¿Cuáles son las máximas y mínimas cantidades de purga permitidas en una válvula de seguridad?  
 b) ¿Como se ajusta ésta cuando es necesario?  
 c) ¿Qué tolerancia, más o menos, permitiría usted en la presión de apertura de una válvula ajustada para 150 psi (10,5 kg/cm<sup>2</sup>)?

RESPUESTA:

- a) La purga mínima será no menos de dos libras, y la máxima no inferior del 96 por 100 del ajuste de presión de la válvula de seguridad.  
 b) Por el fabricante o representante del fabricante solamente.  
 c) Más o menos un 3 por 100.
51. ¿Cuál es el ajuste permisible del resorte de una válvula de seguridad tarada a a) 290 psi de presión (20,3 kg/cm<sup>2</sup>); b) 190 psi de presión (13,3 kg/cm<sup>2</sup>)?

RESPUESTA:

- a) 5 por 100 en cualquier caso.  
 b) 10 por 100 en todo caso.
52. ¿Por qué no debe colocarse la válvula de seguridad en la misma tobera o tubo de la línea principal de vapor?

RESPUESTA: Habría de tener una diferencia de presión (a causa del flujo de vapor en el tubo) entre la presión de caldera y la presión directamente bajo el asiento de la válvula. El flujo de vapor en el tubo ocasionaría el movimiento en el asiento de la válvula y temblores, golpes y daños entre el disco y el asiento cuando la válvula sopla y abre/cierra. Si la caldera tiene un tubo seco, está expuesto a obstruirse, y entonces la válvula no podría soplar para descargar sobrepresión. Es expuesto el instalar una válvula de corte en la línea de vapor entre la de seguridad y la caldera (y además no está permitido por la reglamentación española).

53. ¿Un economizador requiere una válvula de seguridad según el código ASME?

RESPUESTA: Si el economizador va a estar cerrado o separado de la caldera, se necesitarán una o más válvulas de seguridad ajustadas a la presión máxima permitida en el economizador y con capacidades en BTU/hr (kcal/hr) calculadas para la absorción máxima de calor determinada por el fabricante y si la válvula de seguridad está grabada en caudal de vapor, hay que dividir la potencia en BTU de diseño por 1.000.

54. ¿Cuál es la causa de que las válvulas de seguridad pierdan por debajo de la presión de soplado?

RESPUESTA: La pérdida está causada normalmente por asientos dañados, suciedad interpuesta o una presión de trabajo demasiado próxima a la de soplado. Los filtros colocados en el cuerpo de la válvula, la dilatación del tubo o el peso no soportado de la tubería de descarga pueden también originar fugas. Tales fugas pueden detenerse limpiando el

filtro de la tubería de la válvula de seguridad. Las válvulas también fallan en el ajuste de la presión de descarga porque la suciedad o residuos vienen a depositarse entre el alojamiento del disco y su guía o asiento. Los compuestos químicos endurecidos de caldera y depositados en la tobera bajo el asiento pueden también producir fugas o pegado de la válvula.

55. ¿Qué tipo de caldera no necesita nivel de vidrio o grifo de prueba?

RESPUESTA: Los generadores de circulación forzada sin línea fija de vapor y línea de agua (caldera de circulación en serie) y las calderas de agua sobrecalentada o alta temperatura del tipo de circulación forzada. Lo mismo se aplican a las calderas de agua caliente de calefacción de circulación forzada de serie y las calderas de suministro de agua caliente sanitaria que no tendrán línea fija de vapor y de agua (nivel de agua).

56. ¿Qué área de caldera deberá de computarse como superficie de calefacción?

RESPUESTA: El lado o zona de caldera expuesto a los productos de combustión, excluyendo la superficie de sobrecalentamiento. Las áreas a considerar para este propósito son los tubos, cajas de fuego (hogares), virolas, chapas de los tubos (hogares refrigerados) y el área proyectada de los calderines. Para las calderas de tubos de humos verticales de vapor, se computa sólo la parte de la superficie tubular hasta el grifo medio de nivel (nivel medio).

57. Calcular la superficie de calefacción requerida para una caldera de combustible líquido y de tubo de humos con 100 tubos, cada uno de 2 1/2" de diámetro, de galga número 20 de espesor y de 15" (4,5 m) de longitud. La restante superficie de calefacción de chapa de fuego y chapa de tubos totaliza 130 pies cuadrados a una presión de trabajo de 125 psi (8,75 kg/cm<sup>2</sup>). ¿Cuántas y qué tipo de válvulas deberán instalarse?

RESPUESTA: Utilice el diámetro interior de los tubos como determinante de la superficie de calefacción. La transferencia de calor es desde su interior a través del espesor del tubo hacia el lado de agua exterior. La galga 12 de tubo tiene un espesor de pared de 0,105" (2,66 mm); así, el diámetro interior del tubo será de:

$$2,5 - (2 \times 0,105) = 2,29'' \text{ (58,16 mm)}$$

El área en pies cuadrados de todos los tubos se totaliza por su circunferencia multiplicada por la longitud y por el número de tubos existentes:

$$\pi \ 2,29/12 \times 15' \times 100 = 897 \text{ ft}^2$$

$$\text{Superficie total de calefacción: } 897 + 130 = 1.027 \text{ ft}^2 \text{ (92,43 m}^2\text{)}$$

Como la caldera tiene más de 500 pies cuadrados de superficie de calefacción, se necesitarán dos o más válvulas de seguridad.

58. ¿Bajo qué otro nombre es conocido el «ordenador basado en chip» y cómo ha afectado este dispositivo a la instrumentación y controles de calderas?

RESPUESTA: El gran crecimiento de la tecnología de los semiconductores ha liderado el desarrollo de circuitos integrados para realizar tareas de control; así, el término «computador basado en chips» se aplicó y después se reemplazó por el término «microprocesador». A medida que estos «chips» fueron disminuyendo más y más de tamaño, los diseñadores de instrumentos y controles pudieron disminuir y/o almacenar más información y control a medida que el almacenamiento de datos crecía en los dispositivos.

Esto ha producido una continua tendencia en las centrales a controlar el equipo de potencia de manera automática por sistemas de ordenador en línea y ha producido el mayor desarrollo del control distribuido, controles «inteligentes» de autodiagnóstico y capacidad de análisis de datos para mantenimiento predictivo. Como puede notarse, la mayor concentración en el uso de instrumentación y controles miniaturizados ha tenido lugar en las centrales de energía con calderas y equipos de generación de energía eléctrica.

**59.** ¿Qué es una pantalla de gráficos de CRT?

**RESPUESTA:** Una pantalla de gráficos de CRT (tubo de rayos catódicos o pantalla de TV) muestra al operario de planta una representación gráfica de todo el sistema de energía de planta para monitorizar todos los datos de planta si es necesario para controlar una función, por simple presión sobre un botón o tecla adecuada. Esto ha sustituido los antiguos paneles gráficos de la planta. La facilidad para escanear sobre un gráfico esquemático de planta muestra al operador los valores programados de los puntos monitorizados en los circuitos de potencia de la planta, valores tales como temperatura, presión, caudales, presiones de extracción, cargas sobre el generador y datos operativos similares. Los gráficos de datos pueden operarse en cualquier momento por la acción adecuada del operario en este tipo de operación controlada por ordenador.

**60.** ¿Con qué frecuencia deben controlarse las columnas de agua y niveles de vidrio en las calderas de alta presión?

**RESPUESTA:** Para plantas con tres turnos de trabajo, al comienzo de cada turno, y esto debería hacerse por el operario responsable del mantenimiento del nivel adecuado de agua en caldera. Para otras plantas con marcha automática de caldera, el nivel en la columna y de nivel de vidrio debería comprobarse al comienzo del trabajo diario.

**61.** Para una caldera equipada con válvula de purga de apertura rápida y válvula de apertura lenta combinadas, ¿cuál es el procedimiento de purga recomendado para abrir y cerrar las válvulas de purga?

**RESPUESTA:** Se recomienda que la válvula de apertura rápida sea abierta primero, y la tasa de purga se ajuste con la válvula de apertura lenta. Cuando acabe de purgar, cierre la válvula de apertura lenta primero y la de apertura rápida después. Es también una buena práctica abrir la válvula más próxima al generador de vapor la última y cerrarla la primera cuando se para la purga.

**62.** ¿Cuál es la disposición de la válvula en una línea de alimentación de agua próxima a la caldera y qué precauciones son necesarias en la entrada del agua de alimentación a la caldera?

**RESPUESTA:** Se necesita una válvula de corte próxima a la caldera con una válvula de comprobación colocada próxima a la válvula de corte. Toda la línea de alimentación puede cortarse o cerrarse con la válvula de corte si la válvula de comprobación funciona. En otros tiempos se dejaba abierta la línea con la válvula de comprobación (o retención, unidireccional) evitando el retroceso desde la caldera. La descarga de agua de alimentación dentro de la caldera debería hacerse fuera de las superficies calientes para evitar el choque térmico sobre los componentes de la caldera y debería ser por debajo del nivel mínimo de agua.

63. ¿Cuál es el tamaño mínimo de tubo de alimentación requerido para una caldera de tubos de agua (VT) con a) 50 ft<sup>2</sup> (4,5 m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción; b) 125 ft<sup>2</sup> (11,25m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción?

RESPUESTA:

- a) 1/2" de diámetro de tubo.  
b) 3/4" de diámetro de tubo de alimentación.

64. ¿Cuáles son los tamaños máximo y mínimo de abertura para una conexión de purga en una caldera de potencia?

RESPUESTA: Máximo 2 1/2" (63,5 mm); mínimo 1" (25,4 mm); calderas miniatura: 3/4" (19 mm).

65. Una caldera de vapor piro-tubular tiene 95 ft<sup>2</sup> (8,6 m<sup>2</sup>) de superficie de calefacción. ¿Cuál es el tamaño mínimo de tubería de purga que se puede utilizar en esta caldera?

RESPUESTA: 3/4" de diámetro (19 mm).

66. ¿Por qué deberían inspeccionarse los interiores o incluso desmontarse los controles de corte de combustible por bajo nivel de agua al menos una vez al año?

RESPUESTA: Las inspecciones con desmontaje se hacen para comprobar en los siguientes puntos posibles este dispositivo de seguridad, ya que puede quedar fuera de servicio cuando se necesite: 1) conexionado mecánico del flotador, palanca y puntos de pivotaje asociados; 2) partes del embiclaje que puedan estar rotas o a punto de romperse, desgastadas u oxidadas; 3) depósitos excesivos de cal o suciedad en el flotador o en su cámara; 4) conexionado de tubería al dispositivo de corte cerrado con sedimentos; 5) flotador con agua en su interior; y 6) puente y conexionado eléctrico recubierto de sedimentos o puentado parcial o totalmente dando falsas señales eléctricas sobre el bajo nivel de agua.

67. ¿Qué tipo de control de alimentación de agua es especialmente sensible para producir un fallo en el control de bajo nivel de agua?

RESPUESTA: Las unidades con combinación de bomba de retorno y/o alimentador y control de corte por bajo nivel de agua, porque un fallo del flotador hará inútil de inmediato la alimentación de agua a una caldera, así como anulará el corte por bajo nivel de agua a causa del mal funcionamiento de los controles del flotador, ambos, el de alimentación y el de corte de quemador. Un recorte de combustible independiente por bajo nivel debería complementar la combinación de alimentación de agua y corte de combustible por bajo nivel de agua.