

Capítulo 15

ENTRENAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE CALDERAS Y MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO

Las prácticas de operación y mantenimiento de calderas están cambiando a medida que muchas plantas están siendo equipadas con equipos de control e instrumentación modernos. La mejora del rendimiento de la planta de calderas incluye consideraciones técnicas para aumentar la eficiencia con fiabilidad, de modo que se asegure un servicio seguro y continuo que está siendo dado por estatutos existentes y que se denomina «buena práctica de ingeniería». Una nueva filosofía del mantenimiento combina eficiencia centrada en mantenimiento con seguridad de mantenimiento. El concepto de fiabilidad implica identificar medidas físicas clave que pueden producir roturas y después ajustar límites para cuando se deban tomar acciones correctivas. El término de «mantenimiento basado en el ordenador» se utiliza a menudo. Esto implica ajustar un programa de ordenador a:

1. Inventariado y seguimiento del rendimiento de producción de modo que se puedan anotar los cambios. Si el rendimiento está por debajo de los puntos de ajuste, el mantenimiento preventivo es inventariado con las órdenes de trabajo necesarias.
2. Mostrar las tendencias de los datos de varias índoles, como tasa de producción de calor, cantidad de combustible usado y producción, caídas de presión en el bucle de salida de gases de combustión y datos similares, para mostrar que las acciones correctivas pueden requerirse para aumentar el rendimiento o para evitar fallos en la operación.
3. Trabajo de seguimiento y costes de material para mantener la planta sobre una base anual por toneladas de vapor producido.

4. Mantener un control del inventario de piezas de repuesto y un sistema de órdenes o pedidos.

Las *consideraciones financieras* para mejorar el rendimiento de una planta de calderas están relacionadas con el rendimiento técnico de la planta en áreas tales como reducción de costes de combustibles por mejora del rendimiento y por reducción de las necesidades de personal por más automatización, y también consideración del mantenimiento exterior para el turno anual de inspección general. La tendencia es revisar cada planta de calderas por métodos contables de costos y, para aquellas plantas que generan tanto vapor como energía eléctrica, como un centro de beneficios; en otras palabras, considerar qué es más barato, si comprar energía eléctrica o generar electricidad.

Selección y entrenamiento de empleados. Las calderas modernas y su equipo auxiliar han sido desarrollados según líneas de control automático, de forma que parecen requerir menor atención. Desgraciadamente este desarrollo ha tenido su efecto sobre algunos operadores: la consecuencia es que ellos han adquirido la idea de que el equipo puede pensar por sí mismo. Indiferentes de cómo puede ser una planta automática, el elemento humano puede ser aún el eslabón más débil y puede llegar a ser responsable de una costosa parada. Cada individuo relacionado con la operación y mantenimiento de una planta de calderas debería estar entrenado para comprender que tiene un alto grado de responsabilidad en su tarea, y que aquellos que no puedan asumir esta capacidad responsable no tienen sitio en estas plantas. Esta actitud debería asumirse por cada persona de la organización, desde el limpiador al ingeniero jefe. El éxito de la organización depende mucho de la cuidadosa selección de cada perspectiva de empleo —una problemática real con estudios de personal.

La elevada disponibilidad del equipo de una central generadora es el resultado de un hardware correctamente instalado y de sus sistemas asociados, que son después operados adecuadamente y mantenidos por gente experta. Parte del esfuerzo de mantener operativo el equipo de planta y con operación eficiente y segura requiere programas de ajuste e inspección de la caldera, equipos auxiliares, equipos de combustión y controles.

Los operadores están siendo sometidos a entrenamientos cruzados en plantas de ciclo combinado para funciones también con menor mantenimiento. La gerencia mirará este personal como más valioso para su operación. La reglas básicas a seguir es aprender nuevas técnicas y llegar así a ser más valioso.

Programas de adiestramiento. Deberán desarrollarse programas de estudio. El tamaño de la planta y las facilidades disponibles determinarán la mejor aproximación. En grandes plantas, ésta puede consistir en clases periódicas para el personal de operaciones bajo la supervisión de un ejecutivo capaz; en plantas pequeñas puede trazarse un plan de estudio particular para los que estén interesados. Algunos medios de inspirar ambición y acción de promoción para adquirir mayor conocimiento del equipo con el que tienen que trabajar será beneficioso para todos.

Hay varias organizaciones de ingenieros de operación y energía que están representados en las grandes ciudades y cuyas aspiraciones son en primer lugar educativas. Las funciones educativas y sociales de estos grupos son muy recomendables.

La gerencia debería revisar anualmente el entrenamiento y formación disponible para el personal de planta, para tomar nota de si las relaciones con el resto de la planta están claramente entendidas.

Muchos ingenieros de planta o encargados de centrales simulan trastornos de planta frecuentemente en ejercicios. Esto es un método excelente de preparación para todo tipo de contingencias. Los sistemas de calderas grandes requieren programas especiales de adiestramiento a causa de la complejidad de los controles, valvulería, instrumentación y profundidad o compacidad del hardware. Los grandes fabricantes de calderas venden programas de entretenimiento para instalaciones y grandes centros industriales. Con las regulaciones y normativas gubernamentales de emisiones que afectan al funcionamiento, el adiestramiento por personal del fabricante de calderas debería ayudar a los operadores a tomar posiciones y comprender las nuevas plantas. Los simuladores son cada vez más utilizados a medida que las plantas se vuelven más complejas.

Muchas leyes estatales requieren atención de los operarios al 100 por 100 o a tiempo parcial acerca de la marcha de las calderas automáticas. El significado de la palabra *atención* en muchas jurisdicciones es como sigue: las calderas de tubos de agua con capacidades de más de 20.000 libras/hora (9 ton/hora) y las que queman carbón pulverizado deberían disponer de atención del operario en todo momento (al 100 por 100). Las calderas pirotubulares de alta presión deberían tener atención del operario a tiempo pleno o a tiempo parcial. *Atención a tiempo pleno* significa que hay presencia de un operario competente que nunca abandona la sala de calderas por más de veinte minutos. La *atención a tiempo parcial* significa la presencia de un operario que puede abandonar la sala de calderas por más de veinte minutos, dejando la caldera trabajando desatendida, pero haciendo comprobaciones periódicas de al menos cada dos horas. Una caldera se considera desatendida cuando está durante más de dos horas sin tener un operador competente comprobando su funcionamiento adecuado. Deben tenerse presente las leyes estatales y municipales sobre los requisitos de atención por parte de los operadores.

Donde no existan requisitos legales para la atención por parte de los operarios, es una buena práctica entrenar a la gente para cumplir los siguientes requisitos mínimos de conocimiento, dependiendo del tamaño de la planta:

1. Trace y dibuje un sistema del combustible de la caldera y válvulas asociadas, filtros, manómetros y controles.
2. Trace y dibuje los sistemas principal y auxiliar de vapor y retorno de condensados y sistema de alimentación de la caldera, incluyendo válvulas, manómetros, controles y enclavamientos.
3. Inspeccione y compruebe los conjuntos y ajustes de la caldera.
4. Inspeccione los lados de fuego y de agua para controlar las fugas, corrosión, roturas, ampollas, abultamientos y otras condiciones que debilitan la caldera.
5. Limpie, inspeccione y pruebe los quemadores de gas y de combustible líquido y sus registros.
6. Compruebe los depósitos de combustible y, si fuera necesario, limpie filtros, líneas y válvulas.
7. Pruebe el combustible en línea, y el recirculado, compruebe si hay fugas y encienda el sistema de combustible-aceite. Compruebe las seguridades de combustión.

8. Observe y registre presiones y temperaturas del sistema de combustible. Compruebe y ajuste los puntos de consigna del control.
9. Inspeccione y opere adecuadamente los sopladores de hollín.
10. Encienda y apague los fuegos y bancadas de quemadores en una caldera de carbón pulverizado (si estuvieran instalados).
11. Inspeccione y regule el alimentador automático de carbón y/o los pulverizadores en una caldera con combustible de carbón. Compruebe y ajuste controles y enclavamientos.
12. Arranque, regule y asegure los ventiladores de tiro forzado y de tiro inducido. Compruebe controles y enclavamientos para una operación adecuada.
13. Inspeccione pantalones, tomas ascendentes y chimeneas.
14. Determine el tiro, cajón de aire y presiones del hogar, y temperaturas de chimenea y de hogar. Ajuste el tiro cuando sea necesario.
15. Tome y analice gases de combustión para obtener CO_2 , CO y O_2 . Interprete los resultados y haga las correcciones necesarias.
16. Purgue la caldera tanto con purga superficial como de fondo.
17. Purgue los niveles de vidrio y columnas de agua.
18. Compruebe las alarmas de nivel alto y bajo y el corte de combustible por nivel de agua bajo. Desmunte y limpie alarmas y el corte por nivel de agua bajo.
19. Regule las bombas de alimentación, cambie bombas y ajuste reguladores del agua de alimentación.
20. Regule el nivel de agua de caldera.
21. Corte, ajuste y asegure el regulador del nivel de agua de alimentación.
22. Pruebe las válvulas de seguridad.
23. Ponga en línea la caldera.
24. Caliente y corte las líneas de vapor.
25. Saque una caldera de línea, arranque fuegos (para calderas de combustión de carbón) y asegure la caldera.
26. Dirija el análisis de agua de caldera, intérprete los resultados, trate el agua de alimentación y ajuste la purga continua de acuerdo y según el dictamen del especialista de tratamiento de agua, si se precisa.
27. Pase el control de combustión de manual a automático y vuelva atrás de nuevo. Compruebe los controles de seguridad al hacer esto.
28. Prepare los registros y lógicas de operación de la caldera.
29. Corte los sobrecalentadores y conéctelos adecuadamente.
30. Ajuste el calentador de agua de alimentación a su presión y temperatura.
31. Renueve los vidrios de nivel.
32. Retire, reponga y reemplace las empaquetaduras y juntas de las tapas de los agujeros de hombre.
33. Inspeccione, repase y ajuste las válvulas de seguridad según y dentro de los límites del Código.
34. Limpie el lado de fuego y de agua de la caldera.
35. Haga reparaciones del refractario y otras si fuera necesario.
36. Dirija una prueba hidrostática.
37. Suba la presión de la caldera.
38. Sepa cómo retirar y reemplazar tubos de calderas, sobrecalentadores, economizadores, calentadores de aire y calentadores de agua de alimentación.

39. Ajuste sopladores y lanzas de soplado de hollín.
40. Inspeccione, limpie y repase manómetros de caldera, instrumentos y controles.

Además de lo señalado anteriormente, un operador debería estudiar continuamente cualquier nuevo desarrollo en: operación de caldera, procedimientos de mantenimiento, reparaciones, requerimientos legales (incluyendo leyes de seguridad y medioambiente que afectan a las plantas de calderas), cambios de normativa que afectan a las reparaciones de caldera y requerimientos de inspección o instalación.

Familiarización con una planta nueva. Un medio eficiente de llegar a familiarizarse con una nueva planta es dibujar cada sistema importante de tuberías y hacer un croquis de todas las válvulas y equipos de cada sistema. Haga lo mismo con los sistemas eléctricos. Un operador debería conocer la planta lo suficientemente bien como para ser capaz de llegar a todas las válvulas clave y controles principales en un apagón eléctrico durante una emergencia. Todos los operadores debería trazar y dibujar cada sistema. Debería mantenerse para su estudio una documentación y literatura de la maquinaria, instrumentación y equipamiento de la planta. También un sistema de planos o fotocopias de los equipos importantes deberían guardarse en cajas por si se necesitasen para una emergencia. Haga un inventario de repuestos de componentes críticos, de modo que siempre estén a mano, o haga una lista de suministradores que puedan responder inmediatamente para suministrar los recambios o servicios de reparación. Esto incluye tubos de caldera y componentes de equipos que podrían parar la planta si no estuvieran en *stock* y se necesitaran en caso de fallo.

Entrenamientos de emergencia. El entrenamiento de emergencia del personal de operación es indispensable para la planta de calderas. En las plantas pequeñas, la instrucción individual puede bastar, pero en las más grandes, como en un ejercicio de incendio, los operadores deberían ser enseñados para cada emergencia que pueda suceder. Cuando la emergencia es de nivel bajo de agua en la caldera, falta de corriente eléctrica auxiliar, fallo de un enclavamiento de sistema, o rotura en el sistema de presión, cada trabajador debería tener un lugar definido y unos deberes específicos que cumplir. Cada uno debería estar ejercitado para comprender la razón de estos deberes y llevarlos a cabo rápidamente sin confusión.

Ciertos sistemas de alarma son inválidos para alertar emergencias, pero no hay sistema de alarma que pueda reemplazar a la anticipación casi instantánea de muchas emergencias para el ingeniero bien entrenado y alertado.

La *inundación de equipos de caldera* ha creado emergencias que normalmente requieren que el equipo eléctrico de planta sea reajustado después de que las aguas bajan de nivel. Deberían tomarse las siguientes precauciones antes de que una caldera que ha experimentado una inundación pueda retornar al servicio:

1. *Válvulas de seguridad:* Limpie, lubrique, inspeccione y pruebe las válvulas. Inspeccione el tubo de descarga por las obstrucciones de lodo.
2. *Cortes por nivel de agua bajo:* Limpie, recablee si fuera necesario, renueve las probetas y dispositivos de conexión de mercurio si fuera necesario, inspeccione y pruebe.
3. *Controles de límite:* Limpie, inspeccione y pruebe. Renueve si fuera necesario.

4. *Dispositivos de control y seguridad de llama:* Limpie, inspeccione y pruebe. Renueve o reponga si fuera necesario.
5. *Motores eléctricos, transformadores, relés y cableado:* Los motores eléctricos deberían ser limpiados, vueltos a montar y alimentar y ser probados antes de ponerlos en servicio. Los tableros, tubos de protección, cajas y relés deberían ser comprobados por un electricista cualificado. Si algo está defectuoso, renuévelo. El fallo en seguir procedimientos seguros en lo que concierne a instalaciones eléctricas podría llevar a electrocución fatal y/o fallos eléctricos, incluyendo incendios y quemaduras. Trabaje con guantes y herramientas aisladas, compruebe con la pértiga la existencia de tensión y manténgase aislado de tierra sobre una banqueta.
6. *Refractario, obra de albañilería y aislamiento:* Después de la inspección y reparación, todos estos elementos deberán secarse antes de encender la caldera. El encendido inicial debe ser corto y ligero, a pequeños intervalos para ser suave y permitir que la humedad escape gradualmente. Un calentamiento rápido formaría bolsas de vapor con resultado de desprendimiento de refractario.
7. *Inspección interna:* Las calderas deberían ser inspeccionados totalmente por su interior y cualquier acumulación de lodos y fangos debería ser eliminada.
8. *Arranque:* Tan pronto como se arranque la caldera, deberá hacerse lo siguiente: probar los dispositivos de seguridad de llama, los dispositivos de corte por nivel bajo, las válvulas de seguridad y los controles de límite.
9. *Vigilancia:* Mantenga el sistema de ordenador a partir de que la caldera sea operativa. Monitorice diligentemente la operación de los controles y dispositivos de seguridad. Mantenga una caldera bajo vigilancia estricta de posibles fugas, vidrios de nivel de agua sucios, purgas obstruidas y evidencias similares de que el efecto de la inundación pueda requerir más limpieza o reparaciones.

Las *paradas forzosas* deben considerarse siempre como una posibilidad. La mayoría de las plantas no tienen la suficiente capacidad de recambio cuando la unidad más grande sufre un fallo inesperado. La planificación de emergencias debería incluir un inventario adecuado de recambios, tales como tubos, válvulas, juntas y componentes similares que ayuden a solucionar una reparación. Las grandes reparaciones de una unidad clave requieren un alquiler considerable de caldera mientras la dañada está siendo reparada. Puede ganarse mucho tiempo si los ingenieros de planificación preveen un plan para tales emergencias. Tenga agua, vapor y tuberías de combustible instaladas para la caldera de alquiler de forma que la unidad pueda conectarse rápidamente al sistema de planta. Los operarios de todos los turnos deberían tener disponible una lista de proveedores y firmas fiables de reparación.

Sala de control de operaciones. Las plantas grandes dependen de la sala de control de operaciones. Esta práctica ha eliminado la vigilancia continua de las zonas y secciones de una gran planta de generación de energía, con pesada ligazón de los aparatos e instrumentación y alarmas para alertar al personal de la sala de control de una situación anormal. No es posible instrumentar una alarma para todas las posibilidades de mal funcionamiento. Sin embargo, se necesita tener cuidado para evitar

demasiada confianza sobre el funcionamiento bajo un control informático, a no ser que esté complementado por vigilancia de zona de operaciones como se estipula, dentro de unos intervalos de seguridad. Como resultado de varias experiencias en plantas de centrales nucleares, se han desarrollado los siguientes conceptos de operaciones en sala de control. Las salas de control deberán mostrar en pantallas de ordenador todas las condiciones normales, marginales y fuera de límite de un sistema. Los operadores de la sala de control deberían estar entrenados para identificar cuándo un sistema de seguridad debe incluirse en un lazo o bucle y cuáles son las implicaciones para que el resultado sea una operación segura. Un sistema de alarma de límite superior debería forzar al operario a decir qué acciones preventivas o correctivas deben tomarse para evitar pasar por una condición potencialmente peligrosa. La información crítica desplegada en una sala de control debería tener medios previstos para una rápida validación de lecturas. Las alarmas deberían sonar sobre un sistema de prioridades basadas en la urgencia de la acción para el operador, a no ser que un trastorno de la planta arriesgue el equipo.

Seguridad en funcionamiento y mantenimiento. La seguridad y el funcionamiento efectivo del equipo de presión son también importantes a causa de las regulaciones gubernamentales; sin embargo, una planta segura es también un medio de reducir el riesgo financiero de una empresa. Los operadores deben asegurarse en todo momento de que sus procedimientos son técnicamente sólidos y que no violan el Código ambiental o de seguridad, como las de higiene y seguridad en el trabajo o las de la agencia de protección del medio ambiente. Una operación inadecuada o unos procedimientos que violan estas normativas pueden suponer serios costes por responsabilidades o multas. Las grandes plantas a veces emplean a un ingeniero de seguridad cuyo deber es ver que todos los riesgos se reducen al mínimo, educar al personal a ser propenso a la seguridad y seleccionar material formativo en seguridad en materia de carteles, avisos y, en definitiva, tener al personal al corriente. Obviamente, la planta pequeña no puede afrontar semejante especialista. Pero las mismas ideas de seguridad pueden desarrollarse entre un personal menor y a un coste proporcionalmente menor. Un programa como éste, que proporciona ejemplos de cómo gastar diez dólares, puede ahorrar cientos.

No es cuestión de lo grande que pueda ser una planta; deberá incluir en su equipamiento un cuadro. Si se lleva a cabo un seguro de compensación de los empleados (como es obligatorio en muchos lugares), las compañías de seguros normalmente dan cuadros o tablas de seguridad excelentes y gratis. Estos cuadros deberían estar colocados. Un conjunto de normas de seguridad para una planta particular debería estar correctamente enmarcado y colocado permanentemente en un lugar adecuado. Un conjunto de reglas típicas de este tipo observadas en muchas plantas se muestra en el Apéndice 3.

Las leyes de seguridad implicando equipos de plantas generadoras y sus proximidades están cubiertas por normas estatales de seguridad e higiene en el trabajo y de eliminación de riesgos laborales (en Estados Unidos, la normativa OSHA) y por los requerimientos de las compañías de seguros y de incendios. La aproximación moderna a la seguridad es considerar un sistema o bucle entero y después determinar el efecto que causa al sistema si uno de los componentes falla o si un operario no responde a una situación adecuadamente. La extensión del análisis necesario depen-

derá de los elementos críticos de la planta o de su peligrosidad. Ciertamente en una planta nuclear el mal funcionamiento de una válvula puede requerir más instrumentación y alarmas de lo que sería necesario en una pequeña planta industrial. El término *revisiones de interacción de planta* está ganando mayor atención en los estudios de seguridad y en el análisis de los efectos del fallo de una pieza o componente.

Las *normas generales de seguridad* aplicables al trabajo de calderas incluyen lo siguiente:

- Utilice escaleras seguras, sin defectos, así como andamios y cables para llegar hasta los componentes o piezas del calderín.
- Cuando entre en una caldera, esté seguro de que todas las válvulas, líneas y conexiones similares para vapor, agua, combustible, aire y gases de combustión están totalmente cerradas o con bridas ciegas.
- Esté seguro de que hay oxígeno suficiente presente en todo calderín, colector o virola que deba ser ocupado y que se cumplen los requerimientos de espacio cerrado de la OSHA. Debe utilizarse un instrumento para medir la presencia de, al menos, un 21 por 100 de oxígeno.
- Esté seguro de que todo el amianto (asbesto) que puede haberse dispuesto o retirado lo ha sido mediante recipientes adecuados y que la zona de trabajo ha sido completamente aislada para evitar que se desprenda el asbesto en la planta de calderas.
- Utilice lámparas de baja tensión y cables de extensión con guardas y aislamiento adecuados. Esté seguro de los calderines y hogares, que sean apagados y aireados adecuadamente antes de entrar.
- Utilice casco duro de seguridad en cualquier zona donde sea posible un daño en la cabeza por caídas de objetos desde alturas por accidente y de posibles golpes por partes sobresalientes, como válvulas o tuberías, es decir, utilícelo siempre dentro de la planta.
- Póngase vestiduras especiales para evitar contactos con la piel de los contenidos de la caldera que sean potencialmente dañinos.

Siga todas las normas de seguridad estipuladas en la empresa o legalmente establecidas. Las pruebas hidrostáticas tienen la consideración de ayuda a soportar y manejar el peso del agua contenida, y una vez que hay que realizarlo por imposición normativa, la válvula de seguridad debe estar bloqueada o eliminada; los manómetros de prueba deben tener precisión; se debe ventear la caldera antes de llenarla con agua y que los aparatos conectados sean adecuados, así como sus conexiones para soportar la prueba de presión.

Las *comprobaciones de turno* son otra función importante de la gestión de la planta. Éstas deben disponerse a veces para veinticuatro horas al día, y hay que efectuar varias comprobaciones para limitar el trabajo semanal a un cierto número de horas.

Muchas plantas que emplean un cierto número de mecánicos encuentran necesario tener al menos un trabajador de reserva o «flotante». Esta persona deberá ser capaz de y estar entrenada para cubrir cualquier vacante de turno debido a enfermedad, ausencia o períodos de vacaciones. Durante las condiciones normales, el operario flotante puede absorberse para un control de mantenimiento o prueba.

Debería ser una regla estricta en el trabajo por turnos que ningún operario pudiera abandonar el puesto o prepararse para ir a su casa hasta que el operario de relevo ha informado en el puesto que está listo para cumplir con sus tareas. A menudo es durante unos pocos minutos de descuido o negligencia, cuando uno se está preparando para abandonar el trabajo y hacer el relevo, cuando ocurre un accidente.

MONITORIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA O RENDIMIENTO DE CALDERA

La monitorización del rendimiento de caldera puede revelar una degradación por caída, que si es detenida y corregida puede incrementar la eficiencia de la misma en direcciones técnicas y financieras, quizás por reducción de costos de combustible. Se describirán e ilustrarán dos métodos para calcular la eficiencia de caldera por monitorización del rendimiento.

Método directo. El método directo es el más simple y fácil de aplicar y en el cual:

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = \frac{\text{energía saliente}}{\text{energía entrante}} \times 100$$

Es necesario estabilizar las condiciones de la caldera para ajustar el punto de consigna, de modo que las comparaciones puedan hacerse en las mismas condiciones operativas de la caldera.

Ejemplo. Una caldera de 50.000 lb/hr (22.680 kg/hr) trabajando con vapor saturado a 200 psi (14 kg/cm²) tiene 47.000 lb/hr (21.319 kg/hr) de retorno de condensado de 3.500 lb/hr (1.588 kg/hr) de purga continua. La temperatura del agua de aportación es de 72 °F (22 °C) y la del retorno de condensado es de 175 °F (79,5 °C). La caldera usa gas natural con un poder calorífico de 995 BTU/ft³ (9.286 kcal/m³). Una comprobación señala un caudal medio de gas natural de 69.800 ft³/hr (1.885 m³/hr) para un caudal de vapor de 50.000 lb/hr (22,68 Ton/hr). ¿Cuál es el rendimiento de la caldera por el método directo?

Solución

Caudal de aporte o alimentación: 53.500 – 47.000 = 6.500 lb/hr (2.951 kg/hr)

Temperatura media de entrada del agua de alimentación: $72^\circ (6.500) + 175^\circ (47.000) = 53.500 (T_f)$, y resolviendo, $T_f = 72 \cdot 6.500 + 175 \cdot 47.000 / 53.500 = 162,5^\circ \text{F} (72,5^\circ \text{C})$

Entalpía del vapor a 215 psi absolutos (15,05 kg/cm²) = 1.199,2 BTU/lb (666,2 kcal/kg)

Entalpía del agua: 162,5 °F (72,5 °C) = 120,4 BTU/lb (72,5 kcal/kg)

Entalpía del líquido a 215 psia (15 kg/cm²) = 361,58 BTU/lb (200,87 kcal/kg)

Energía saliente de caldera (vapor): 50.000 lb/hr (1.199,2 – 120,4) BTU/lb + 3.500 lb/hr (36.158 – 120,4) = 54.785.530 BTU/hr

Energía entrante en caldera: 69.800 ft³/hr × 995 BTU/ft³ = 69.451.000 BTU/hr

Rendimiento: 54.785.530/69.451.000 × 100 = 78,9 %

Este método simplificado de obtener la eficiencia puede usarse para detectar tendencias de rendimiento por comparación de rendimientos previos con resultados normales. La mejor comparación se obtiene con una lectura de puntos de referencia cuando la caldera es nueva, o después de una limpieza y revisión general.

Método indirecto. El método indirecto se llama también método de las pérdidas, y sigue de cerca el método ASME de tabular las pérdidas cuando están ocurriendo. El rendimiento se determina así por:

$$\text{Rendimiento o eficiencia} = \frac{\text{entrada de energía} - \text{pérdida}}{\text{entrada de energía}} \times 100$$

Este método exige medir los gases de combustión y también efectuar un análisis último del combustible. Su ventaja clave es que indica dónde están ocurriendo las pérdidas, haciendo así posible aumentar la eficiencia si las pérdidas identificables pueden reducirse. Su desventaja es que son necesarios muchos datos y cálculos, como el siguiente ejemplo del método indirecto mostrará.

En el método indirecto deberán determinarse las siguientes pérdidas:

1. Pérdida debida a la *humedad del combustible*. Esto es especialmente aplicable al carbón que se lava o se almacena en el exterior. Para otros combustibles se considera una pérdida inherente con poca perspectiva de reducción, a no ser por un cambio o sustitución del combustible.
2. Pérdida debida a la *combustión del hidrógeno* del combustible que también forma agua (*humedad*) y va a la chimenea como vapor. El combustible y el aceite tienen la mayor cantidad de hidrógeno. Esta pérdida se considera también una pérdida inherente no controlable, a no ser que cambien las especificaciones del combustible.
3. Pérdida debida a la *humedad del aire* usado para la combustión. Ésta es una de las razones para precalentar el aire de las calderas grandes de vapor; de otra manera se considera también una pérdida inherente originada por el uso del aire ambiente en la combustión del combustible.
4. Pérdida debida al calor llevado a la chimenea por los *gases de combustión*. Los factores que pueden inferir en esta pérdida incluirán:
 - a) El alto exceso de aire revelado por un análisis de los gases de combustión.
 - b) Suciedad o incrustación de las superficies de transferencia del lado del agua y del fuego o gases.
 - c) Pobre circulación del agua en comparación con los flujos del lado de gases de combustión.
 - d) Baffles de gases defectuosos que permitan el *bypass* de transferencia térmica sin pasar sobre dichas superficies.
 - e) Velocidades de gases demasiado altas a través de la caldera (demasiado tiro), de forma que no hay tiempo suficiente para la transferencia de calor adecuada.
5. Pérdida debida a la *combustión incompleta* por:
 - a) Suministro de aire insuficiente.

- b) Hogar frío a baja carga.
 - c) Pobre atomización o pulverización del combustible.
6. Pérdida debida a las *cenizas de los combustibles*, especialmente aplicables a calderas de combustibles sólidos y producidas por:
- a) Parrilla de longitud insuficiente para la combustión completa del combustible (sólido).
 - b) Demasiada inyección de combustible por sobrecarga de la caldera.
 - c) Demasiada extracción de cenizas antes de que tenga lugar la combustión completa del combustible.
7. *Pérdidas diversas* por radiación, convección y fugas, tales como:
- a) Débil aislamiento alrededor del calderín y paredes.
 - b) Necesidad de reparación de los refractarios del hogar.
 - c) Tuberías, juntas, sellado de uniones y otras fugas por las paredes de la caldera.

Ejemplo del método indirecto. Una caldera de carbón gasta 2.000 lb/hr (907 kg/hr) de carbón que produce 420 lb/hr (190,5 kg/hr) de cenizas. El carbón no quemado en las cenizas es del 18 por 100. La temperatura del aire y del combustible a la entrada del hogar son de 74 °F (23 °C). La humedad relativa del aire es del 70 por 100. La presión manométrica es de 29,92" de mercurio (759,96 milímetros de mercurio). La temperatura del vapor es de 360 °F (182,2 °C). La temperatura de los gases que salen de la caldera es de 452 °F (233,3 °C). Se obtuvieron los siguientes resultados de los tests y análisis.

1. *Análisis del carbón*, % por libra (o kg) de carbón:

Componente	%
Carbono	62
Hidrógeno	4
Nitrógeno	1
Oxígeno	8
Azufre	2
Humedad	8
Cenizas	18

Poder calorífico: 11.800 BTU/lb = 6.550 kcal/kg

2. *Análisis de los gases de combustión en volumen*:

Componente	%
CO ₂	13
CO	1
O ₂	5
N ₂	81

Hallar y tabular las pérdidas de calor por libra (kg) de carbón quemado y determinar la eficiencia de la caldera si las pérdidas restantes se supone que son el 4,11 % de las pérdidas totales.

Solución. ASME recomienda lo siguiente en los cálculos del balance térmico:

1. Temperatura de evaporación de la humedad del combustible y el aire a 100 °F (37,77 °C) a causa de la baja tensión de vapor de agua en el hogar de la caldera.
2. Los calores específicos a utilizar:
 - a) del vapor de agua en los gases de combustión: 0,47 BTU/lb/°F (= 0,26 kcal/kg/°C)
 - b) del agua: 1 BTU/lb/°F (1 kcal/kg/°C)

1. *Pérdidas de calor debidas al agua en el combustible, H_w .*
Utilice la fórmula:

$$H_w = W_m[37,7 + 0,47(t_g - 100^\circ) - 1(t_f - 32^\circ)]$$

y operando:

$$H_w = W_m(1.105,2 \text{ BTU/lb} + 0,47 t_g - 47 + 32 - t_f) = W_m(1.090,2 + 0,47 t_g - t_f)$$

donde: H_w = pérdida debida a la humedad del combustible por lb o kg de combustible quemado

Entalpía del vapor de agua a 37,7 °C = 613,46 kcal/kg

Pérdida de calor debida al vapor de agua = $0,47(t_g - 100) = 0,26(t_g - 37,7)$

Calor ganado por el agua desde 0 °C (32 °F) = $1(t_g - 32) = 1(t_f - 0)$

t_g = temperatura de los gases que salen de la caldera: 452 °F = 233 °C

T_f = temperatura del combustible y aire entrante en caldera = 74 °F = 23,3 °C

W_m = peso de la humedad por libra (kg) de combustible quemado = 8 %

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$\begin{aligned} H_w &= 0,08[1.090,2 + 0,47 \cdot 452 - 74] = 0,08(603,65 + 0,26 \cdot 233 - 23,3) = \\ &= 0,08[1.090,2 + 212,44 - 74] = 0,08(603,65 + 60,58 - 23,3) = \\ &= 0,08[1.228,64] = 98,3 \text{ BTU/lb} = 0,08(640,93) = 51,3 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

2. *Pérdidas de calor debidas a la humedad en el aire de combustión, H_a :*

Utilice la fórmula:

$$H_a = W_u \cdot 0,47(t_g - t_a) = W_u \cdot 0,26(t_g - t_a)$$

donde: W_u = peso del vapor de agua requerido para saturar 1 lb (1 kg) de aire seco a 74 °F (23,3 °C) × (humedad relativa) × (peso de aire seco usado por lb o kg de combustible)

t_a = 74 °F = 23,3 °C

t_g = 452 °F = 233 °C, como se ha definido

Para obtener W_u deben efectuarse varios cálculos. De las propiedades de las tablas de aire, el peso de vapor de agua requerido para saturar 1 lb (o 1 kg) de aire seco a 74 °F (23,3 °C) es de 0,01815 lb (0,03997 kg). El peso de aire seco requerido por lb (o kg) de combustible quemado se obtiene del análisis del combustible como sigue:

- Es necesario calcular *el peso de carbono, C*, que aparece en los gases de combustión, como parte de una serie de cálculos para obtener el peso de aire seco, W_{da} , utilizado por lb (o kg) de combustible. Para determinar C , use la fórmula:

$$C = \frac{W_f C_f - W_r C_r}{W_f \cdot 100}$$

donde: W_f = peso de combustible quemado: 2.000 lb = 908 kg

C_f = % de carbono del análisis final: 62,0 %

W_r = peso de cenizas: 420 lb = 190,68 kg

C_r = % carbono contenido en las cenizas según el análisis final: 18,0 %

Sustituyendo:

$$C = \frac{2.000 \cdot 62 - 420 \cdot 18}{100 \cdot 2.000} = 0,5822 = \frac{(908 \cdot 62 - 190,68 \cdot 18)}{(100 \cdot 908)} = 0,5822$$

- También es necesario calcular el peso de gases secos en chimenea: W_{dg} lb/lb (o kg/kg) de combustible quemado como sigue:

$$W_{dg} = \left[\frac{4\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \right] \left[\frac{W_f C_f - W_r C_r}{W_f \cdot 100} \right]$$

Y sustituyendo:

$$W_{dg} = \left[\frac{4 \cdot 13 + 5 + 700}{3(13 + 1)} \right] (0,5822) = 10,493 \text{ lb/lb de combustible} = 10,493 \text{ kg/kg}$$

- El peso de aire seco, W_{da} , lb/lb de combustible o kg/kg de combustible, se define:

$$W_{da} = W_{dg} - C_1 - 8[H - \text{O}/8]$$

Y sustituyendo:

$$W_{da} = 10,493 - 0,5882 + 8[0,04 - 0,08/8] = 10,15 \text{ lb/lb} = 10,15 \text{ kg/kg}$$

Así pues, las pérdidas térmicas debidas a la humedad en el aire, H_a , con una humedad relativa del 70 por 100 son:

$$\begin{aligned} H_a &= \text{Masa} \cdot \text{Cesp} \cdot \Delta t = 0,7(0,01815) \cdot 10,15 \cdot 0,47(452 - 74) = \\ &= 15,50 \text{ kcal/kg de combustible} = 22,9 \text{ BTU/lb de combustible} = \\ &= \frac{15,50 \text{ kcal/kg}}{6.550 \text{ kcal/kg}} = 0,24 \% \end{aligned}$$

3. *Pérdida de calor debido al hidrógeno en el combustible que forma vapor de agua, H_h .* Utilice:

$$H_h = 9W_h[1.090,2 + 0,47 t_g - t_f] = 9W_h[603,65 + 0,26 t_g - t_f]$$

donde: t_g = temperatura de los gases que salen de la caldera = 452 °F = 233,33 °C

t_f = temperatura del combustible y aire que entra en la caldera = 74 °F = 23,3 °C

W_h = porcentaje de hidrógeno del análisis final = 4 %

Y sustituyendo:

$$H_h = 9 \cdot 0,04[1.090,2 + 0,47 \cdot 452 - 74] = 442 \text{ BTU/lb} = 230 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{O en porcentaje} = \frac{230}{6.550} = 3,5 \%$$

4. *Calor perdido por los gases secos en chimenea, H_{cg} , BTU/lb (o kcal/kg) de combustible quemado.* Utilice la fórmula:

$$H_{cg} = W_{dg} \cdot C_p \cdot (t_g - t_f)$$

donde: W_{dg} = 10,493 lb/lb (10,493 kg/kg) de (2)

C_p = calor específico = 0,24 BTU/lb/°F = 0,24 kcal/kg/°C

t_g = 452 °F (233,33 °C)

t_f = 74 °F (23,3 °C)

Y sustituyendo:

$$H_{cg} = 10,493(0,24)(452 - 74) = 951,9 \text{ BTU/lb de combustible} = 528,8 \text{ kcal/kg}$$

La pérdida relativa por calor sensible de los humos será:

$$\frac{529}{6.550} = 0,0806 = 8,06 \%$$

5. *Pérdidas de calor debidas a los combustibles inquemados H_u , causadas por insuficiente aire o mezcla pobre combustible/aire.* Utilice los porcentajes del análisis de los gases de combustión:

$$H_u = \frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} \cdot 10,160 \cdot C_1$$

Tome C_1 de (2) = 0,5822 lb, y sustituyendo:

$$H_u = \left[\frac{1}{1 + 13} \right] \cdot 10,160 \cdot 0,5822 = 422,51 \text{ BTU/lb de combustible quemado}$$

O bien

$$\begin{aligned} H_u &= \left[\frac{1}{1 + 13} \right] \cdot 10,160 \cdot 0,5822 = 422,51 \text{ BTU/lb} = \\ &= 234 \text{ kcal/kg (en porcentaje} = 234/6550 = 3,6 \%) \text{ de combustible quemado} \end{aligned}$$

6. Pérdidas de calor debido a combustible no consumido de las cenizas, H_r .

$$H_r = \frac{14,600(W_r C_r)}{W_f}$$

Y sustituyendo cantidades como se ha mostrado según los cálculos anteriores, con:

$$\begin{aligned} W_r &= 420 \text{ lb} \\ C_r &= 18 \% \\ W_f &= 2.000 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$H_r = \frac{14.600 \cdot 420 \cdot 0,18}{2.000} = 551,88 \text{ BTU/lb de combustible} = 306 \text{ kcal/kg}$$

En términos relativos esta pérdida por calor inquemado en cenizas valdrá:

$$\frac{306}{6.550} = 4,67 \%$$

7. Pérdidas restantes, H_m , dadas como: $0,0411 \cdot 11.800 = 485 \text{ BTU/lb} = 269,2 \text{ kcal/kg}$, o en términos relativos, el 4,11 %. Éstas son pérdidas por radiación, convección y fugas.

Suma de pérdidas de (1) a (7) en términos absolutos:

$$\begin{aligned} 1 &= 98,3 \text{ BTU/lb de combustible} = 54,6 \text{ kcal/kg} = 0,83 \% \text{ pérdida por agua en el combustible} \\ 2 &= 22,9 \text{ BTU/lb de combustible} = 15,5 \text{ kcal/kg} = 0,24 \% \text{ pérdida por humedad en el aire de combustible} \\ 3 &= 442 \text{ BTU/lb de combustible} = 230 \text{ kcal/kg} = 3,5 \% \text{ pérdida por hidrógeno no quemado} \\ 4 &= 951,9 \text{ BTU/lb de combustible} = 528,8 \text{ kcal/kg} = 8,06 \% \text{ pérdida por calor sensible de humos} \\ 5 &= 422,51 \text{ BTU/lb de combustible} = 234 \text{ kcal/kg} = 3,6 \% \text{ pérdida por no quemados} \\ 6 &= 551,88 \text{ BTU/lb de combustible} = 306 \text{ kcal/kg} = 4,67 \% \text{ pérdida por no quemados} \\ 7 &= 485 \text{ BTU/lb de combustible} = 269 \text{ kcal/kg} = 4,1 \% \text{ pérdidas restantes} \\ \hline &2.974,49 \text{ BTU/lb de combustible} = 1.637,9 \text{ kcal/kg} = 25,01 \% \text{ total de pérdidas} \end{aligned}$$

Eficiencia o rendimiento de la caldera sobre el poder calorífico del carbón:

$$11.800 \text{ BTU/lb} - 2.974,5 \text{ BTU/lb} = 8.825,5 \text{ BTU/lb de combustible quemado}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{11.800 - 2.974,5}{11.800} \cdot 100 = 74,8 \% = 75 \%$$

O de otro modo: $100 - 25 = 75 \%$

El balance térmico mostraría el siguiente consumo térmico y pérdidas para 1 lb (1 kg) de combustible:

Ítem 1	BTU/lb	kcal/kg	% combustible perdido, BTU
Calor absorbido por la caldera	8.825,5	4.898,74	74,8
Pérdida de calor por humedad en combustible	98,3	54,6	0,83
Pérdida de calor por humedad en aire	22,9	15,5	0,19
Pérdida de calor por hidrógeno en combustible	442	230	3,74
Pérdida de calor sensible gases en chimenea	951,9	528,8	8,07
Pérdida de calor por no quemados gaseosos (CO)	422,5	234	3,58
Pérdida de calor por no quemados en cenizas (sólidos)	551,9	306	4,68
Pérdidas restantes: radiación, convección, etc.	485	269	4,11
TOTALES	11.800	6.550	100 %

Análisis de pérdidas. Las mayores pérdidas son las del calor que se va por la chimenea con los gases de combustión (o calor sensible) y las de los no quemados combustibles del combustible y de las cenizas (en el caso del carbón) que se pierden y no contribuyen a la transferencia de calor. Muchas pérdidas de calor son atribuibles a los métodos de trabajo o prácticas de mantenimiento. Éstas incluyen o comprenden:

1. No mantener una relación adecuada aire/combustible para asegurar una combustión completa y segura, y gastar calor con el aire en exceso.
2. Incrustaciones en el lado de agua por tratamiento pobre o inadecuado o un proceso de purga deficiente.
3. Ensuciamiento por el lado del fuego, tal como la acumulación de cenizas debido a un incorrecto soplado de las mismas.
4. Baffles o tabiques defectuosos en los pasos de gases que cambian la transferencia térmica del flujo de gases al lado del agua.
5. Atomización de combustible pobre o mala pulverización del carbón o de los combustibles sólidos que producen la combustión incompleta de los mismos. El humo es un indicador de combustión incompleta del combustible.
6. Tiro inadecuado que produce un paso rápido de los gases a través de la caldera evitando un flujo adecuado y una transición correcta del calor por convección y radiación.
7. Sobrecarga de fuego o combustible en la caldera, contribuyendo a que el combustible no quemado vaya a la chimenea con las cenizas.
8. Mantenimiento deficiente, incluyendo fugas de calor por el aislamiento mal conservado, por pérdidas de vapor y combustible de los tubos de caldera o del sistema de combustible y por los refractarios estropeados.

Los cálculos de rendimiento y comparación de resultados con rendimientos previos ayudan a los operarios a identificar posibles orígenes de las pérdidas, de modo que se puedan efectuar las correcciones oportunas. Como ejemplo, los cálculos pueden efectuarse sobre una base mensual, como se ve en el siguiente problema.

Problema. En el mes anterior, el método directo de cálculo de rendimiento de caldera mostró que una caldera tenía un 78,9 por 100 de eficiencia basada en el consumo mensual de

combustible y el caudal mensual de vapor obtenido. El operario anotó lo siguiente para el mes actual: caudal total de vapor del mes: 6.200.000 libras (2.814.800 kilos) a 250 psi (17,5 kg/cm²) y 500 °F (260 °C) de temperatura. La temperatura media del agua de alimentación fue de 202 °F (94,4 °C). El fuel-oil consumido fue de 59.000 galones (223.338,6 litros) con un poder calorífico medio de 158.400 BTU/galón (10.545 kcal/l). Calcular el rendimiento mensual (de este mes) de la caldera por el método directo.

Solución.

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} &= \frac{\text{Energía saliente}}{\text{Energía entrante}} = \frac{6.200.000 \text{ lb} (1.261,5 \text{ BTU/lb} - 180,6 \text{ BTU/lb})}{59.000 \text{ gal} \times 158.400 \text{ BTU/gal}} = \\ &= \frac{2.814.800 \text{ kg}(703 \text{ kcal/kg} - 94,4 \text{ kcal/kg})}{223.338,6 \text{ kg} \times 10.545 \text{ kcal/kg}} = 0,7274 = 72,74 \% \end{aligned}$$

El operario se dio cuenta de que había un 4,8-5 por 100 de pérdida de eficiencia y algo tenía que hacer. La última inspección interna mostró un aumento de la incrustación debido al aporte de agua dura. Decidió hacer una limpieza de la caldera con ácido para incrementar el rendimiento y así ahorrar costos de combustible. Esta decisión se vio influida también por observar un marcado aumento de la temperatura de la chimenea respecto al mes anterior. El mes siguiente demostró que debido a la limpieza con ácido la eficiencia tuvo un aumento de hasta el 78,5 por 100.

Es práctica usual al realizar el balance térmico hacer que la *entalpía del agua de alimentación* sea la entalpía del líquido a la temperatura de entrada del agua de alimentación, a no ser que la presión del agua de alimentación esté por encima de 600 psi (42 kg/cm²).

Ajuste de caldera y exceso de aire. El ajuste de caldera ha recibido una creciente atención como medio de aumentar el rendimiento de la combustión. El objetivo primario del ajuste es alcanzar la mayor eficiencia de combustión controlando el exceso de aire utilizado en quemar el combustible de caldera y también reducir las pérdidas de calor que van a la chimenea. También es posible alguna reducción en la potencia requerida por el ventilador de tiro forzado y el de tiro inducido.

Se precisa mucho cuidado al operar con una relación de aire/combustible *muy baja*, porque:

1. Puede tener lugar una combustión incompleta, que también puede producir pérdidas de calor por los no quemados que van a la chimenea.
2. Puede producirse humo, que puede violar las leyes y normativas medioambientales.
3. Una mezcla demasiado rica supone el riesgo de ignición del combustible no quemado en los pasajes de gases, lo que puede producir una explosión.
4. Los depósitos de hollín de la combustión incompleta interfieren en el lado del fuego de la transferencia de calor, reduciendo así el rendimiento.

Aire teóricamente requerido (estequiométrico). El aire teórico requerido para quemar un combustible se determina haciendo un análisis final del combustible que se

va a quemar y después utilizando los equivalentes decimales. La ecuación siguiente se usa para obtener el aire teórico W_{ta} requerido para quemar el combustible considerado en:

$$W_{ta} = 11,52C + 34,56 \left[H - \frac{O}{8} \right] + 4,32S$$

Ejemplo. Del balance térmico del problema previamente descrito, el análisis último del carbón mostró que su composición es, en porcentajes: carbono: 62; hidrógeno: 4; nitrógeno: 1; oxígeno: 8; azufre: 2. Sustituyendo estos valores decimales en la ecuación anterior:

$$\begin{aligned} W_{ta} &= 11,52(0,62) + 34,56 \left[0,04 - \frac{0,08}{8} \right] + 4,32(0,02) = \\ &= 8,27 \text{ lb aire por lb fuel} = 8,27 \text{ kg aire por kg fuel} \end{aligned}$$

Aire real de combustión. Se necesita siempre una cantidad mayor que la de aire teórico para evitar los problemas antes descritos. El peso real del aire utilizado para quemar 1 libra (o un kg) de combustible se obtiene del análisis de gases de combustión, utilizando los valores del análisis final de combustible. Los constituyentes principales de los gases de combustión se toman en volumen, pero se utilizan también los pesos moleculares para determinar el peso real de aire seco, W_{aa} , libra/libra de combustible quemado (o kg/kg que es lo mismo), como sigue:

$$W_{aa} = \left[\frac{28N_2}{12(CO_2 + CO)(0,769)} \right] \left[\frac{W_f C_f - W_r C_r}{100W_f} \right]$$

donde se usan las siguientes cifras a partir del problema anterior de transferencia térmica.

A partir del análisis de gases de combustión: $N_2 = 81$; $CO_2 = 13$; $CO = 1$; $O_2 = 5$.

$W_f =$ peso de combustible quemado = 2.000 lb (908 kg)

$C_f =$ porcentaje de carbono en el combustible, del análisis de combustible = 62

$W_r =$ peso de cenizas formadas = 420 lb (191 kg)

$C_r =$ porcentaje de carbón en las cenizas = 18 %

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} W_{aa} &= \left[\frac{28(81)}{12(13 + 1)(0,769)} \right] \left[\frac{2.000(62) - 420(18)}{100(2.000)} \right] = \\ &= 10,22 \text{ lb aire por lb combustible quemado} = 10,22 \text{ kg aire por kg carbón} \end{aligned}$$

El porcentaje de exceso de aire es, pues:

$$\frac{W_{aa} - W_{ta}}{W_{ta}} = \frac{10,22 - 8,27}{8,27} = 0,2357 = 23,6 \% \text{ de exceso de aire}$$

El exceso de aire requerido varía con el combustible quemado y tipo de quemador. Un fabricante de calderas, B&W (Babcock & Wilcox), proporciona la guía siguiente de los excesos de aire que se pueden esperar según combustibles y sistemas de combustión:

Combustible	Sistema de combustión	Exceso de aire real (% en peso)	Observaciones
Carbón	Alimentador de parrilla	30 a 60 %	
	Parrilla galopante	15 a 50 %	
	Carbón pulverizado	15 a 20 %	
Fuel-oil	Quemador tipo de registros, 1 solo combustible	5 a 10 %	
	Quemador multifuel	10 a 20 %	
Gas natural	Quemador tipo de registros	5 a 10 %	Valor típico: 9 %
Madera	Hogar holandés	20 a 25 %	

Otro método apropiado utilizado por algunos ingenieros de operaciones para determinar el exceso de aire a partir del análisis de los gases es el siguiente:

$$\text{Exceso de aire (porcentaje)} = \left[\frac{\text{O}_2}{\text{CO} + \text{CO}_2} \right] \times 100$$

Ejemplo. El análisis de Orsat dio los siguientes porcentajes por volumen:

$$\text{CO} = 1; \text{CO}_2 = 13; \text{O}_2 = 5$$

$$\text{Exceso de aire} = \left[\frac{5}{1 + 13} \right] \times 100 = 35,7 \%$$

Nuevos instrumentos. La tecnología moderna ha desarrollado analizadores de gases de combustión electrónicos y mecánicos que permiten, con precisión razonable, medidas puntuales del exceso de oxígeno y de las temperaturas de salida de los gases. Tales dispositivos pueden mostrar ahora la eficiencia o rendimiento de la combustión. Un aparato de rendimiento portátil hecho por la compañía «Neotronics» de Norteamérica, mide la temperatura de los gases de chimenea y el contenido de oxígeno; después calcula el rendimiento de la combustión y muestra en una pantalla las tres lecturas en una disposición clara. El analizador portátil de gases de

combustión también mide el monóxido de carbono (CO) en chimenea y la densidad de hollín en la misma para unidades que queman combustibles líquidos petrolíferos. Esto permite a un técnico adiestrado observar cambios de los modelos de combustión mientras ajusta simultáneamente los controles del quemador para obtener la máxima eficiencia.

Otro modelo se construyen para monitorización continua y análisis del rendimiento de la combustión, que ayudará al funcionamiento de la caldera y también hace posible comprobar el rendimiento sobre una base continua. Las compañías activas en este campo de instrumentación del análisis de la combustión son: «Neotronics de N. A., Inc.», Jefferson, Georgia; «Bacharach», Pittsburg, Pennsylvania; «Land Combustion», Bensalem, Pennsylvania; y «Fisher-Rosemount», de Pittsburg, Pennsylvania.

Seguimiento de la eficiencia. Los operadores deben determinar, a partir de los ajustes de la caldera/quemador según el fabricante, el mínimo exceso de aire permitido para el combustible quemado. Las lecturas periódicas de O₂, CO y CO₂ ayudarán a determinar si son necesarios ajustes del equipo de combustión/caldera como: presión de atomización y pastillas o atomizadores del quemador, temperatura del fuel-oil para la combustión, dirección y forma de la llaman, depósitos de hollín y degradaciones similares que ocurren en el funcionamiento de la caldera. Esto ayudará a mantener el rendimiento de la misma y así a ahorrar combustible. Sobre las instalaciones de calderas pequeñas, la combustión todo/nada con purga previa a encendido del quemador puede ser un despilfarro de combustible. El coste de instalar un sistema de quemador que varíe la tasa de combustión según la carga o la demanda puede demostrar que es más económico que la marcha todo/nada de la combustión. También reduce las tensiones térmicas en los componentes de las calderas, como hogar y uniones de tubos con placas en calderas de hogar interior y pirotubulares.

Es también importante vigilar cualquier aumento en la temperatura de salida de los gases de combustión y el tiro elevado, además de mantener el exceso de aire. Cualquier incremento significativo es un indicio de ensuciamiento de las superficies de transferencia térmica del lado del fuego. El exceso de aire elevado a veces está producido por las excesivas grietas de las paredes del hogar, especialmente cuando se trabaja con presiones negativas (depresión) del hogar. El aumento del consumo de combustible requiere también una revisión de las posibilidades de incrustación del lado del agua. La importancia de seguir la marcha y eficiencia de la caldera es para notar los cambios que pueden estar ocurriendo desde o a partir de los puntos o consignas de ajuste previas o rendimientos deseables establecidos para la marcha de la caldera. Es el aviso del operador el que determina qué acciones correctivas se requieren para restaurar y llevar a la planta de calderas a los criterios de rendimiento o eficiencia esperados.

Hay un *beneficio económico* en mantener los rendimientos más elevados posibles de caldera, que se traducen inmediatamente en costes de combustible.

Ejemplo. Una caldera de 75.000 lb/hr (34.050 kg/hr) trabaja a 400 psi (28 kg/cm²) con 500 °F (260 °C) de recalentamiento a una media de 16 horas/día durante 246 días/año. El com-

bustible utilizado es gas natural a un coste medio de 0,80 dólares por termia americana (25.200 kcal). Después de un año de funcionamiento, las pruebas realizadas muestran que la eficiencia de la caldera ha caído desde el 82,2 por 100 a un promedio de 75,6 por 100. La purga continua está a 2.250 lb/hr (1.022 kg/hr). ¿En qué costes extra de combustible se ha incurrido por la caída de rendimiento medio si las temperaturas medias del agua de alimentación eran de 195 °F (90,6 °C)?

Solución. La entalpía del vapor es de 1.242,9 BTU/lb (689,9 kcal/kg); la entalpía del agua de alimentación es de 152,9 BTU/lb (84,87 kcal/kg); y la entalpía del agua de purga es de 428 BTU/lb (237,6 kcal/kg). Así pues:

$$\begin{aligned} \text{Salida o producción} &= 75.000(1.242,9 - 152,9) + 2.250(428 - 152,9) = \\ &= 82.368.975 \text{ BTU/hr} = 2.075.708 \text{ kcal/hr} \end{aligned}$$

Como 1 termia americana = 100.000 BTU (25.200 kcal = 25,2 termias europeas), la producción será de 823,69 termias americanas, o sea, termias/hora; y el de la entrada será, al 82,2 por 100 de rendimiento: $823,69/0,822 = 1.002,06$ termias/hora.

Y con este rendimiento para el período de tiempo (16 horas \times 246 días/año) será, pues, en cómputo anual y en dólares:

$$\begin{aligned} 1.002,06 \text{ Th/hr} \times 0,80 \text{ \$/Th} \times 16 \text{ hr/día} \times 246 \text{ días/año} &= \\ &= 3.155.286,5 \text{ \$/año} \end{aligned}$$

La energía entrante, con el nuevo rendimiento del 75,6 %, será:

$$823,69/0,756 = 1.089,54 \text{ Th/hr}$$

El nuevo coste de esa mayor energía entrante será:

$$1.089,54 \text{ Th/hr} \times 0,8 \text{ \$/Th} \times 16 \text{ hr/día} \times 246 \text{ días/año} = 3.430.743,6 \text{ \$/año}$$

El coste extra de combustible por la caída de eficiencia es, pues, por año:

$$3.430.743,5 - 3.155.286,5 = 275.457,05 \text{ \$/año}$$

Evaluaciones económicas. Con el incremento de instrumentos y controles disponibles y el crecimiento en equipo ambiental que ayudará a las plantas de calderas a cumplir con las regulaciones y normativas medioambientales, los gerentes de plantas de calderas deben evaluar muchas partes o piezas de los equipos para optar por reparar o reemplazar con nuevos equipos que restauren el rendimiento y la eficiencia. El método de ingeniería para determinar este tipo de problema es comparar costes de reemplazo con el coste de operación de una pieza de equipo reajustada o reparada. Sin embargo, incluso esto puede estar influido por temas semejante como normas medioambientales, quizás relaciones públicas con la comunidad e incluso leyes de impuestos sobre la amortización permisible de equipos. El ejemplo siguiente se da con ciertos supuestos asumidos y es un método de evaluar las reparaciones de piezas viejas *versus* la compra de equipos nuevos, desde un punto de vista de utilidad económica.

Ejemplo. Suponga las mismas condiciones de carga existentes para la caldera de 75.000 lb/hr (34 Ton/hr), revisada en el ejemplo anterior, pero varios años más tarde. Los tubos tienen veinte años, lo mismo que los equipos de combustión y otros controles. La decisión a tomar es si la caldera debería ser sustituida por otra nueva o reentubada y con controles reinstalados. Se han recibido las siguientes ofertas:

1. Reentubado y cambio de controles de combustión costaría 700.000 dólares con una vida esperada de 15 años. El banco está deseando financiar esta compra al 14 por 100 de interés. La eficiencia de la caldera reconstruida está garantizada en el 80 por 100. El préstamo del banco podría ser por quince años con pagos anuales.
2. Una caldera nueva costaría 1.500.000 dólares y tendría un rendimiento del 85,5 por 100. También habría un ahorro de 100.000 dólares al año por ahorro de coste en la operación. La vida esperada es de veinte años. El banco también quiere financiar la compra por un 12 por 100 de interés con pagos anuales durante veinte años.

Debido al incremento de producción, se planea operar la nueva instalación 16 horas/día durante 250 días/año. Las condiciones del vapor serían las mismas, concretamente 823,69 termias americanas/hora, como se vio en el problema anterior. Se supone que no hay valor residual al final de la vida esperada para las dos opciones a evaluar.

Solución. Las consideraciones económicas están limitadas a comparar la carga financiera de capital más intereses y costes operativos sobre una base anual.

1. Opción 1. Reentubado y controles nuevos.
 - a) El coste del capital más los intereses serán calculados como un problema tipo de anualidades, donde los 700.000 dólares recibidos es el valor actual que debe ser reembolsado en 15 anualidades de pago. De la matemática financiera, las anualidades al 14 % de interés pueden calcularse como sigue:

P = pagos anuales; L = préstamo aceptado; i = interés; n = número de pagos.

$$P = L \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

y sustituyendo:

$$P = 700.000 \left[\frac{0,14(1,14)^{15}}{1,14^{15} - 1} \right]$$

Resolviendo:

Anualidad = $P = 113.945,33$ \$/año coste de capital e intereses

- b) costes operativos: $823,69/0,80 \times 0,8 \times 16 \text{ h/d} \times 250 \text{ días/año} = 3.294.760$ \$/año.
- c) Total coste anual para la Opción 1: $3.294.760$ dólares + $113.945,33$ dólares = $3.408.705,33$ \$/año.

2. Opción 2. Comprar una caldera nueva.
 - a) Coste de capital más intereses:

$$P = 1.500.000 \left[\frac{0,12(1,12)^{20}}{1,12^{20} - 1} \right] = 200.818,88 \text{ $/año}$$

- b) Costes operativos del combustible =

$$= 823,69/0,855 \times 0,80 \text{ $/Te} \times 16 \text{ h/d} \times 250 \text{ d/año} = 3.082.816,2 \text{ $/año}$$

Sustrayendo los ahorros anuales de trabajo, el coste será de:

$$3.082.816,2 \text{ \$} - 100.000 = 2.982.816,2 \text{ $/año}$$

c) Coste anual total con la caldera nueva = $2.982.816,2 \$ + 200.818,86 = 3.183.635 \$$

Según esta evaluación, el ahorro anual comprando una caldera nueva será de:

$$3.408.705,33 - 3.183.635 = 225.000,3 \$/\text{año}.$$

La otra ventaja de la caldera nueva seleccionada es la velocidad de instalación *versus* el reentubado y el cambio de controles en la caldera vieja. Los recambios para la caldera nueva y sus controles serán más fácilmente asequibles en comparación con muchas piezas obsoletas de los controles de la caldera vieja.

La *conservación de la propiedad* también afecta a los operadores de plantas de calderas, a causa del riesgo de fuego inherente que existe cuando se quema combustible. Las compañías de seguros ponen gran énfasis en la preservación de la planta de calderas a causa de su riesgo potencial de fuego y explosión, y también para cumplir con los requerimientos de la inspección legal. Muy a menudo, la planta de calderas es vital para la producción y el seguro de interrupción del negocio se extiende tanto para el riesgo de incendio como para el de rotura o interrupción por todo lo que se refiere al cuidado de calderas y de maquinaria. Los operarios estarán en contacto con los representantes de las compañías de seguros, que velarán por la prevención de incendios, y los inspectores autorizados jurisdiccionales, que velan por el cumplimiento de los requisitos legales del código ASME y los demás (en España, por el cumplimiento de la reglamentación de calderas y recipientes a presión).

Representantes de la prevención de incendios. De este modo, los operadores deben familiarizarse con las recomendaciones de conservación de la propiedad de las compañías de seguros. Los representantes de la ingeniería de las compañías de seguros pueden dar información sobre conservación de la propiedad basada en los requerimientos de su compañía o de la normativa nacional o sobre incidentes con los que habían tenido experiencia con otras propiedades similares. Generalmente están especializados en identificar focos de incendio y en lo que debe hacerse para reducir el riesgo. Muchas veces estas normas están basadas en la normativa NFPA* y pueden incorporarse en los requisitos legales locales, ya que estas normas han recibido reconocimiento nacional como buenas y recomendables. Para recibir copias de esas normas escribir a NFPA, Batterymarch Park, Quincy MA 02269.

Plan de prevención de incendios de la OSHA**. Después de varios incendios con resultado de operarios muertos en plantas industriales, se edita por la OSHA la Hoja de Trabajo Número 91-41. Esta norma exige a los empleados/propietarios de una instalación implementar un plan de prevención de incendios con las siguientes características:

1. El empleador debe suministrar salidas adecuadas y accesibles y equipo contra incendios, tener un plan de emergencia para las contingencias que pue-

* *National Fire Protection Association*: asociación nacional de protección contra incendios.

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

- dan suceder y tener un programa por escrito de adiestramiento de empleados para prevenir y evitar daños en el lugar de trabajo.
2. Debe haber procedimientos de mantenimiento para el almacenaje, orden y limpieza de materiales inflamables y desperdicios. Hay una recomendación para reciclar desperdicios inflamables, tales como papel, pero deben seguirse normas de empaquetado y manejo seguras.
 3. Los focos o fuentes de ignición en los lugares de trabajo, tales como fumar, soldar y operaciones de combustión, deben tener procedimientos escritos para evitar la ignición de cualquier sustancia inflamable sobre esas premisas. El material inflamable debe mantenerse fuera del alcance de cualquier foco térmico. Esto incluye fugas y goteos. Todo equipo productor de calor, tales como quemadores, calderas, cambiadores de calor, hornos, estufas, freidoras y equipo similar, debe mantenerse adecuadamente de modo que funcione con seguridad, y además debe mantenerse limpio y libre de fugas y residuos inflamables.
 4. El plan escrito debe estar disponible por los empleados para su revisión y cumplimiento. Los empleados deben estar amparados y cubiertos de todos los riesgos potenciales de incendio en lo relacionado con sus tareas y por los procedimientos a seguir si se declara un incendio, como se especifica en el plan de prevención de incendios del propietario. Todo nuevo empleado debe ser instruido de forma similar. Si la ocupación o condiciones de la planta cambian, todos los empleados deben ser instruidos para ello.

Terminología de los fuegos. La terminología de incendios será revisada someramente aquí para dar a los operarios de planta una comprensión de lo sumamente complejo que es el tema de la ingeniería de prevención de incendios. El *fuego* se define generalmente como una reacción química que implica «oxidar» una sustancia sólida, líquida o gaseosa; la evidencia visible de esto es un fuego o llama acompañada del desprendimiento de calor. La combustión tiene lugar en presencia del oxígeno, una sustancia inflamable y un foco de ignición. Los tres deben estar presentes para mantenerla. Los ingenieros de protección de incendios han clasificado los fuegos en tres clases:

1. *Clase A:* La combustión de combustibles ordinarios, como madera, papel y tejidos textiles, donde el agua puede bajar la temperatura de ignición fácilmente y así poner fin al fuego.
2. *Clase B:* Fuegos de líquidos inflamables, como aceite, gasolina y grasa, donde se necesita cubrir o ahogar el fuego para poder sofocarlo (eliminación del oxígeno).
3. *Clase C:* Fuegos de equipo eléctrico, donde se precisa un agente no conductor de la electricidad para apagar el fuego.

Los *fuegos en metales* incluyen la combustión del magnesio, aluminio en polvo, cinc, sodio, potasio y metales similares de riesgo, en los que los agentes extintores ordinarios no ponen fin al fuego. Deben usarse sustancias especiales pulverizadas o granuladas para cubrir el metal en combustión y excluir al oxígeno del fuego.

Punto de inflamación. Punto de inflamación es la temperatura a la cual una sustancia (sólida, líquida o gaseosa) emite suficientes vapores para formar una mez-

cla inflamable con el aire. La *ignición o punto de ignición* es aquella temperatura a la cual una sustancia arde y continua ardiendo en tanto haya material inflamable y el oxígeno esté presente.

La *luminosidad de la llama* es un indicativo de la intensidad de la combustión por la cantidad de calor liberado. Está relacionada con la temperatura de la llama, como se ve en la tabla siguiente:

Color de la llama	Temperatura de la llama (°F)
Rojo	977
Rojo oscuro	1.292
Rojo cereza	1.562
Rojo pálido	1.742
Amarillo	2.012
Gris blanquecino	2.372
Blanco intenso	2.732

El *rango explosivo* es un rango de porcentaje de volumen de mezcla en el aire que limita la combustibilidad de una sustancia y la tasa de combustión cuando se mezcla con aire. En una mezcla pobre, las partículas de la sustancia están tan ampliamente separadas que aquellas que están ardiendo no comunican calor e ignición a las otras partículas de los alrededores. Cuando las partículas están tan cercanas unas a otras que las excluyen de una mezcla correcta con el aire o el oxígeno, la mezcla se llama rica. El punto de combustibilidad de la mezcla se llama límite inferior de explosión (LEL), mientras el correspondiente al umbral de mezcla rica se denomina punto o límite superior de explosión (UEL). Por ejemplo, el hidrógeno tiene un LEL de 4,1 por 100 y un UEL del 74 por 100.

Causas del fuego. Puede ser útil revisar las múltiples causas de fuego, ya que por el conocimiento de los focos potenciales, los operarios pueden identificar los síntomas y emprender acciones correctoras. Las causas son:

1. Contacto directo de los combustibles con la llama abierta o materiales.
2. Largo tiempo de exposición al bajo calor de los combustibles hasta que el gas desprendido arde y combustiona lo que le rodea. Los tubos de vapor caliente sin suficiente aislamiento pueden hacer arder a la madera, polvo, suciedad, etc., que toque los tubos de vapor; éste es un ejemplo de los efectos de calentamiento a largo plazo.
3. Calentamiento o combustión espontánea. Ésta es una oxidación lenta a temperatura ordinaria de un material que sea conductor del calor. El calor de oxidación no se desprende, y como resultado la temperatura aumenta con la velocidad de la reacción hasta que se alcanza una temperatura a la cual comienza una combustión autosostenida, o comienza el fuego. Algo de calor se produce por fermentación, como es el caso del grano o de las grasas en una planta mal ventilada.
4. Explosiones o propagación rápida de la llama. Éstas resultan de la rápida descomposición de una sustancia con gran desprendimiento de calor (reac-

- ción exotérmica), y también desplazamiento rápido de la llama a causa de los vapores inflamables o por desprendimiento rápido a causa de la presión.
5. Material combustible inflamable por chispa.
 6. Fuegos de polvos y explosiones. El polvo que se acumula proveniente de materias como el negro del humo, grano, madera, harina, azúcar, fibras de lana, serrín, polvos metálicos, resinas, celulosa y plásticos.
 7. Chispas eléctricas. La electricidad puede ser una fuente de calor intenso y si se desarrolla chispa de malas conexiones, fallos de aislamiento, sobrecargas o causas similares de averías, éstas chispas pueden prender vapores combustibles líquidos o sólidos.
 8. Reacciones químicas. Éstas pueden causar el desprendimiento de gases inflamables que en ciertos casos forman nubes de vapor que cuando finalmente explotan pueden producir fuego y daños severos.
 9. La fricción o rozamiento produce calor, y este calor eleva las temperaturas del entorno hasta la combustión de cualquier material próximo inflamable.
 10. Electricidad estática. Ésta se produce por fricción o rozamiento de dos superficies juntas, que puede producir un crecimiento de la carga estática. La carga puede alcanzar un punto en que se produzca una chispa eléctrica que puede prender los materiales combustibles. Relacionado con ello están los líquidos inflamables que fluyen por tuberías que generan electricidad estática y la mantienen si no hay un drenaje eléctrico a tierra que la descargue. Es necesario poner a tierra cualquier conducto por medio de una boquilla de descarga o extremo de forma que la electricidad estática se descargue fuera (a tierra). Por ello, la conexión a tierra* de todos los equipos es receptiva (unta de masas a tierra).

La *temperatura de autoignición*, como se muestra en la Tabla 15.1, es la menor temperatura a la que una sustancia sólida, líquida o gaseosa inicia una combustión autosostenida en ausencia de chispa o llama. Esta temperatura puede variar considerablemente, ya que está influida por la naturaleza, tamaño y forma de las superficies que autoignicionan.

Suministro de agua y planes de lucha contra incendios. Un buen sistema público de suministro de agua normalmente es la fuente más económica de protección contra el fuego. Ésta puede tener que ser complementada, dependiendo de la ocupación o donde el suministro público es básicamente para agua doméstica. Sin embargo, todos los operarios deberían estar familiarizados con el *plan de lucha contra incendios* de la propiedad. Debería darse a los siguientes puntos atención especial por su importancia:

1. Familiaridad con la superficie y el tipo de edificio de la propiedad.

* *N. del T.*: Por medio de «tierras» conductoras metálicas que descarguen finalmente en una «tierra» propiamente dicha, húmeda y buena conductora y diseminadora eléctrica. La normativa UNE española y los reglamentos electrotécnicos así lo exigen.

Tabla 15.1. Temperaturas de ignición de algunos gases

Gas	Ignición en oxígeno (°F)	Ignición en el aire (°F)	Autoignición (°F)
Hidrógeno	580-590	580-590	1.076
Monóxido de carbono	637-658	644-658	1.204
Etileno	500-519	542-547	842
Acetileno	416-440	406-440	635
Sulfuro de hidrógeno	220-235	346-379	500
Metano	556-700	650-750	999
Etano	520-630	520-630	959
Propano	490-570		871
Amoníaco	700-860		1.204

2. Si no lo hay disponible, hacer un esquema de conexiones del servicio público de agua para la propiedad, incluyendo tamaño y tipos de válvulas y tuberías y dónde están situadas.
3. También señalar en el esquema válvulas, hidrantes, bombas de incendios y conexiones a utilizar.
4. Saber dónde están situados los extintores de incendios y los equipos de primeros auxilios.
5. Si existe sistema de *sprinklers* (aspersores), saber cómo se activan y qué válvulas deben estar abiertas para que sean efectivos. Esto también se aplica a los sistemas de espuma y niebla.
6. Tener fácilmente disponibles los números telefónicos del departamento de incendios, de modo que las brigadas de incendios y policía puedan ser avisados en caso de fuego o empeoramiento de la lucha contra el fuego.
7. Conozca todas las salidas y el procedimiento a seguir para que todos los ocupantes abandonen el edificio o planta de calderas. Las salidas y caminos estarán pintados y señalizados.
8. Esté totalmente familiarizado con el plan de emergencia de planta para desconectar el equipo eléctrico y cortar todos los equipos de servicio o de proceso en la planta de calderas; conozca bien la situación del equipo de servicio de lucha contra incendios.
9. Determine qué tipo o clase de fuego existe, de forma que sean utilizados los agentes de extinción adecuados en la lucha contra el fuego.

Deterioro o caída. Éste es un término utilizado por los ingenieros de protección de las compañías de seguros cuando los equipos de protección, *sprinklers*, bombas de incendios, dispositivos de detección, válvulas, alarmas, suministro de agua, tanques por gravedad y equipos similares que son cruciales para la lucha contra incendios están fuera de servicio, bien deliberadamente para su mantenimiento, bien accidentalmente debido a un fallo eléctrico, mecánico o a alteraciones del edificio. Durante este tiempo existe siempre el riesgo de declaración de incendio. Todas las propiedades habrán sido destruidas, por ejemplo, porque el suministro de agua se cortó en la calle para hacer reparaciones de tuberías o valvulas. Los «abandonos» ocultos pue-

den ser peligrosos porque pueden ocurrir a causa de alguna acción desconocida por persona no autorizada, bien sobre la propiedad o sobre el suministro público de agua que entra en planta. Las inspecciones y pruebas regulares del sistema de protección contra incendios por el personal tendrá como objetivo principal el hallar los «abandonos» o «empeoramientos» ocultos del sistema de protección de incendios, de forma que se puedan ejercer las acciones correctivas precisas.

El «abandono» planeado para reparaciones o alteraciones debería colocarse bajo supervisión del jefe de protección de incendios de la planta, de forma que los planes de emergencia sean puestos en vigor para tomar las acciones precisas durante el mismo. Algunas acciones a tomar si ocurre una caída o abandono son:

- Notificar al departamento local de incendios y personal clave implicado con el plan de incendios de la planta, de la «caída», su situación en planta y su duración esperada. Muchas compañías de seguros de incendios también desean recibir esta notificación.
- Establecer un sistema de vigilancia en zonas que contengan combustibles o un proceso inflamable, como depósitos de combustible o líneas de combustible.
- Colocar extintores extras en la zona donde los *sprinklers* estén fuera de servicio.
- Alertar a todos los empleados de las precauciones a tomar cuando se manejan escombros y combustibles.
- Limitar todas las actividades que produzcan chispas o materiales incandescentes, como cortes o soldaduras en las áreas afectadas. Es preferible que el trabajo de reparación tenga una base continuada a causa del riesgo implicado durante la «caída». Es preferible también que los procesos en zonas de riesgo no sean ejecutados durante las «caídas» del sistema de seguridad. Es esencial probar el sistema para un funcionamiento adecuado después de que las reparaciones estén terminadas.
- Notificar a la gerencia de planta, departamentos de incendios y brigadas de bomberos, así como a la compañía de seguros de incendios, cuando el sistema esté fuera de normalidad. Esto incluye a las agencias de alarma exteriores.

El *seguro de calderas* es un elemento importante normalmente manejado por los ejecutivos de la compañía, pero es uno de los que el departamento de ingeniería de planta muy a menudo está implicado, porque el seguro de caldera se lleva bajo contrato de seguro y maquinaria, que puede cubrir otros equipos de planta además de las calderas. Tradicionalmente, la compañía que vende calderas y cobertura de maquinaria también suministra servicio de inspección legal de calderas y recipientes a presión como parte de su esfuerzo para evitar accidentes. Así, este servicio ampara un bien público al proteger al público de accidentes potenciales peligrosos, y ésta es, por supuesto, la razón principal de por qué las autoridades legales aceptan inspecciones autorizadas de compañías de seguros en calderas y recipientes a presión.

La cobertura de calderas y maquinaria es doble en su alcance. La cobertura está designada para suministrar reembolso financiero en caso de un posible accidente, y normalmente también proporciona un servicio de inspección legal que hará posible reducir los accidentes al mínimo. Este servicio ayuda a puntualizar las condiciones en las calderas, velando por el personal de planta, que puede ser corregido para reducir costes de operación por su mantenimiento.

Pueden suscribirse dos tipos de seguros a cobertura general para calderas y maquinaria. Uno cubre los daños producidos por rotura accidental de calderas, recipientes a presión y maquinaria bajo planes de cobertura total, y el otro reembolsa al usuario por la pérdida de producción debida al paro del equipo operado por la caldera en caso de un accidente. Este último se conoce como de «rotura» o «cobertura de propiedad» y la otra se clasifica como «cobertura de la interrupción del negocio». Hay también otras opciones de cobertura, como las de pérdidas por contaminación y como consecuencia de daños.

Muchos estados en Estados Unidos exigen que las calderas que no están bajo control federal sean inspeccionadas por un inspector estatal (por cuyos servicios habrá un cargo), a no ser que la caldera esté asegurada por una compañía de seguros autorizada y sea inspeccionada por uno de sus inspectores cualificados. Cuando una caldera está asegurada (normalmente por una compañía autorizada para suscribir seguros de calderas y maquinaria en ese estado), el departamento de ingeniería de la compañía de seguros envía a la jurisdicción legal del estado una nota de que la caldera está asegurada. Si la compañía tiene inspectores comisionados en su nómina (y la mayoría de las compañías aseguradoras de calderas y maquinaria los tienen), la jurisdicción legal no cataloga una inspección sobre la caldera sobre la cual ha recibido notificación. ¿Por qué? Porque será inspeccionada y se les enviará un informe en base a una inspección formal estatal cuando le llegue la inspección debida por los inspectores de la compañía de seguros comisionada por el estado.

El propietario deberá preparar la caldera para la inspección interna. En algunas calderas de baja presión, las inspecciones internas pueden ser exigidas solamente cuando se juzgue necesario, dependiendo de la ley estatal. En otros casos, la caldera debe ser vaciada y abierta para inspección si es de alta presión, de baja presión, de vapor o del tipo de agua caliente para calefacción.

El inspector comisionado realiza una inspección, y si las condiciones son satisfactorias, emite un informe al estado, requiriéndole para renovar el certificado de operación de la caldera. En algunas jurisdicciones, la compañía de seguros emite el certificado directamente. Si se necesitan reparaciones o si las condiciones (de una caldera) necesitan corrección, se emiten órdenes certificadas para que la dificultad o violación sea eliminada. Si esto no se hace, el inspector notifica al estado la violación y le requiere para que no se emita el certificado de operación hasta que la violación sea reparado. El estado o jurisdicción legal correspondiente puede utilizar su fuerza coactiva para reforzar el requerimiento.

Cuando el seguro de una caldera se cancela o no se renueva, la compañía de seguros notifica a la jurisdicción legal y da las razones para ello. Las condiciones peligrosas de una caldera pueden informarse al estado por teléfono, si es necesario, por el inspector comisionado. El propietario tendrá sobre sí toda la presión de la jurisdicción laboral para corregir las condiciones o poner la caldera fuera de servicio. La mayoría de las compañías de seguros tienen también providencias para la inmediata suspensión del seguro por el inspector bajo esas condiciones adversas.

Un operador de calderas puede asegurar que se han tomado todas las medidas para evitar un fallo mayor de caldera haciendo lo siguiente:

1. Compre el mejor equipo disponible para un servicio determinado.

2. Compruebe que la caldera esté correcta y adecuadamente instalada con todas las condiciones legales y de normativa cumplimentadas y todos los dispositivos de seguridad cubiertos.
3. Asegúrese de que la caldera es operada y mantenida por operadores con licencia (carnet oficial) y/o competentes, y es inspeccionada regularmente por un inspector comisionado para ello. Solamente entonces estarán cubiertos todos los requerimientos legales. Mantenga un sistema de libro de control de comprobaciones y un lote de mantenimiento preventivo y de procedimientos de pruebas. Vea y compruebe que se siguen tales procedimientos de controles y pruebas y que los resultados se registran siempre. Corrija inmediatamente cualquier mal funcionamiento encontrado durante cualquier comprobación o prueba. Y nunca opere la caldera con fallos o sin atención hasta que se hayan realizado todas las reparaciones adecuadas o sustitución de piezas necesarias.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

1. En una caldera compacta, ¿qué podría causar soplos o deflagraciones pequeñas cuando se arranca?

RESPUESTA:

1. Tiro deficiente.
2. Hogar incorrecto.
3. Tobera inadecuada del quemador.
4. Combustión pobre.
5. Gas piloto insuficiente o excesivo.
6. Agua en el combustible.

El riesgo potencial de cada una de ellas es una explosión del hogar en toda regla.

2. El análisis aproximado de un carbón indicó los siguientes porcentajes: materias volátiles, 35,67 por 100; carbono fijo, 52,26 por 100; cenizas 5,05 por 100, y humedad 5,02 por 100. ¿Cuáles serán las lecturas en base seca?

RESPUESTA: Divida los porcentajes por (1 - 0,0502), excepto la humedad, para obtener las siguientes lecturas en base seca: materias volátiles, 37,55 por 100; carbono fijo, 55,03 por 100; cenizas, 7,42 por 100. Esto totaliza un 100 por 100.

3. ¿Qué sellos ASME deben ser evidentes en los siguientes componentes de una gran caldera montada: chapa con el nombre del fabricante o montador instalada de la caldera; tubería de vapor desde la caldera a la válvula de corte requerida; válvulas de seguridad de caldera y sobrecalentador; tuberías de vapor a y desde el recalentador?

RESPUESTA: Sello «S»; sello «A»; sello «PP»; sello «V» bajo la regla B31.1, no bajo la Sección I del Código; sin embargo, el recalentador se considera parte de la caldera necesitando un sello «S».

4. Una caldera trabaja a 400 psi (28 kg/cm²) con 500 °F (260 °C). La producción es de 100.000 lb/hr (45.400 kg/hr) con 90 por 100 de retorno de condensado a 190 °F (87,7 °C), y una aportación de 14.500 lb/hr (6.583 kg/hr) a 70 °F (21,1 °C). El combustible utilizado

tiene 19.000 BTU/lb (10.546 kcal/kg) de poder calorífico. Calcular la cantidad de combustible necesario por hora si el rendimiento por el método directo es del 86,7 por 100.

RESPUESTA: La entalpía del vapor sobrecalentado según las tablas es = 1.243,1 BTU/lb (690 kcal/kg). La temperatura media del agua de alimentación es de 173 °F (78,3 °C) con una entalpía del líquido de 140,9 BTU/lb (78,2 kcal/kg). Purga = 90.000 + 14.500 – 100.000 = 4.500 lb/hr (2.043 kg/hr). Entalpía de la purga a 415 psi (29,08 kg/cm²) de presión absoluta = 441,2 BTU/lb (244,9 kcal/kg). Así pues, la producción térmica en BTU (o kcal) de la caldera es:

$$100.000 (1.243,1 - 140,9) + 4.500 (441,2 - 140,9) = \\ = 109.868.650 \text{ BTU/hr } (= 28.115.980 \text{ kcal/hr})$$

Cantidad de combustible por hora:

$$\frac{109.868.650 \text{ BTU/hr}}{0,867 \times 19.000} = 6.669,6 \text{ lb/hr } (3.074,9 \text{ kg/hr})$$

5. Un análisis de combustible muestra los siguientes porcentajes: carbono = 59 por 100; hidrógeno = 2,0 por 100; nitrógeno = 0,5 por 100; oxígeno = 7,6 por 100; azufre: 1,2 por 100; ¿Cuál es el aire teórico requerido para quemar estos constituyentes del combustible?

RESPUESTA: Use la fórmula:

$$W_{ta} = 11,52 C + 34,52 \left[H - \frac{O}{8} \right] + 4,32 S$$

y sustituyendo valores:

$$W_{ta} = 11,52 \cdot (0,59) + 34,52 \left[0,02 - \frac{0,076}{8} \right] + 4,32 \cdot (0,012) = \\ = 7,21 \text{ libras de aire/kg de combustible}$$

6. Si un analizador de combustión para el combustible quemado en el ejercicio 5 mostró un 30 por 100 de exceso de aire, ¿cuál sería la cantidad de aire real utilizada por libra (o kg) de combustible?

RESPUESTA:

$$\text{Aire real usado} = \frac{W_{ta}}{(1 - E_a)} = \frac{7,21}{1 - 0,3} = 10,3 \text{ libras de aire real/kg de combustible}$$

7. ¿Qué es el aire «vagabundo o errante»?

RESPUESTA: Aire que entra en el hogar, especialmente en hogares en presión negativa, a través de falsos cierres o sellos y grietas de la envolvente. El aire vagabundo puede no ser parte del aire de combustión, y así se llevará calor y lo transportará hasta la chimenea y de allí al exterior. También afectará a las lecturas del exceso de aire y dará un cuadro falso de la eficiencia real de la combustión.

8. ¿Qué es la evaporación equivalente aplicada a la producción de la caldera?

RESPUESTA: Las libras (o kg) de agua por hora que son evaporadas a 212 °F (100 °C) por el calor de la caldera y se hallan mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Evaporación equivalente} = \frac{W_s(h - h_f)}{970,3 \text{ lb/hr}} \left(\frac{W_s(h - h_f)}{539 \text{ kg/hr}} \right)$$

donde W_s = peso del vapor entregado por la caldera, lb/hr (o kg/hr)

h = entalpía del vapor que se está entregando

h_f = entalpía del agua de alimentación a temperatura la de entrada

Por ejemplo, el vapor a 215 psia (15,05 kg/cm²) entrega 10.000 lb/hr (4.540 kg/hr) de vapor saturado con agua de alimentación a 140 °F (60 °C).

$$\begin{aligned} \text{Evaporación equivalente} &= \frac{10.000 \text{ lb/hr} (1.192,2 - 107,89)}{970,3} = \\ &= 11.247 \text{ lb/hr} (5.106 \text{ kg/hr}) \text{ de agua evaporada} \end{aligned}$$

Este término sirve para calcular los HP de caldera dividiendo por 34,5. En este caso, los HP de caldera son: 11.247/34,5 = 326 HP.

9. Describa el término «implosión».

RESPUESTA: Implosión se refiere al abombamiento hacia el interior de los grandes paneles de tubos de las grandes calderas de tubos de agua debido a las grandes presiones negativas que se crean en el lado del hogar de la caldera. Los hogares más grandes no están reforzados para que los esfuerzos que crean las presiones negativas actuando sobre grandes áreas de pared o panel. La mayoría de los incidentes de implosiones tienen lugar donde se usan grandes ventiladores de tiro inducido con grandes caudales o volúmenes. Si el ventilador de tipo forzado arranca de repente y el del tiro inducido no, pueden resultar grandes presiones negativas.

10. ¿Qué ítems requieren atención en los programas de mantenimiento relacionados con la eficiencia en una planta de calderas?

RESPUESTA: El mantenimiento relacionado con el rendimiento de una planta de calderas está dirigido hacia la corrección de las condiciones que dan como resultado un aumento del consumo del combustible al generar una cantidad establecida de vapor. Éstas son las condiciones que incrementan el consumo y comprenden: (1) temperatura de gases en chimenea; (2) caudal de gases en chimenea; (3) combustible contenido en los gases de combustión o cenizas; (4) cantidad de purga; y (5) pérdidas diversas resultantes de fugas en el *casing* y conducto de humos.

11. ¿Debe un inspector aceptar criterios de aceptación de los exámenes radiográficos realizados por un fabricante de piezas en vez del fabricante de calderas?

RESPUESTA: Si los exámenes radiográficos cumplen los criterios de aceptación del Código y son realizados bajo el control del fabricante de piezas de caldera, permite los exámenes radiográficos por un fabricante de repuestos de calderas (o reparador de calderas), pero debe seguirse de un informe emitido por el fabricante de calderas, y éste debe estar disponible para revisión por el inspector autorizado por el Código.

12. ¿Cuál es el máximo tamaño de conexión de purga permitido por el Código?

RESPUESTA: La Sección I limita el tamaño a $2\frac{1}{2}$ " (63,5 mm) de diámetro.

13. Si una caldera de alta presión tiene válvulas de seguridad taradas a 750 psi (52,5 kg/cm²), ¿cuál es la mínima presión requerida por el Código para la fuente de alimentación de agua a la caldera?

RESPUESTA: La fuente de alimentación debe ser capaz de producir una presión de un 3 por 100 sobre el ajuste máximo de cualquier válvula de seguridad y, suponiendo que 750 psi (52,5 kg/cm²) es el máximo tarado o ajuste, el dispositivo de alimentación debe ser capaz de producir un mínimo de 772,5 psi (54 kg/cm²) de presión.

14. ¿Qué dos condiciones exige el Código para la cualificación de un inspector aprobado ASME?

RESPUESTA: Las dos condiciones son: (1) el inspector debe estar contratado por una agencia de inspección autorizada ASME, definida como agencia de inspección oficial de un municipio, estado o provincia canadiense que ha aceptado los requisitos ASME de construcción e instalación, o esté empleado por una compañía de seguros autorizada para suscribir seguros de calderas y recipientes a presión; y (2) el inspector debe estar cualificado por examen escrito bajo las normas de cualquier estado de los EE.UU. o provincia de Canadá que haya adoptado el código ASME como requisito jurisdiccional.

15. ¿Cuándo no se exigen orificios de escape en los tornillos, riostras o tirantes?

RESPUESTA: Cuando la riostra está unida por soldadura.

16. ¿Cuándo están permitidos los anillos de retroceso por el Código, y pueden dejarse en su posición?

RESPUESTA: Los anillos de retroceso están permitidos en las juntas de soldadura por solape simple si no puede alcanzarse una completa penetración de la soldadura raíz, sin embargo, deben cumplirse los requerimientos del Código. Por ejemplo, el material para los anillos de retroceso debe ser compatible con el metal y material de base de modo que no haya aleación de riesgo o contaminación de las soldaduras. Los anillos de retroceso deben dejarse en su posición, pero deben asegurarse adecuadamente para evitar desalojamientos. Deben también ser contorneados en su interior para minimizar cualquier restricción del flujo y deben tener un diámetro interior que permita el paso de un tubo limpiador.

17. ¿Qué son las normas ASME y para qué etapas de la fabricación de una caldera debería un inspector autorizado realizar las inspecciones?

RESPUESTA: El código ASME es muy amplio en este apartado y básicamente establece que el fabricante debe someter la caldera a inspección por un inspector autorizado durante las etapas de fabricación. Las reglas NB se siguen por el inspector y el procedimiento seguido se encuentra en la próxima pregunta.

18. ¿Qué hace un inspector para seguir y controlar la construcción de una caldera en los talleres del fabricante?

RESPUESTA: Inicialmente el inspector comprueba las propiedades físicas del acero a partir de los informes de la fundición para ver si cumplen los requisitos del Código.

Después, comprueba los números de fusión y chapa del informe con los números reales estampados en las chapas para su identificación. El certificado de compras para la construcción de calderas como exige ASME se comprueba para ver si la venta autoriza al constructor de calderas del estado para ser usada en la construcción de esa caldera. Las chapas se inspeccionan para constatar los defectos visibles, como escariaciones, ranuras o defectos de laminación. Se calibra el espesor de las chapas estando permitido una tolerancia de hasta 0,01" (0,254 mm) sobre la especificación. El diseño de la caldera propuesta se comprueba para ver si cumple las especificaciones del Código. Las siguientes visitas se hacen para comprobar métodos y procedimientos utilizados para soldadura, preparación de bordes de soldadura, orificios para remaches, orificios de tubos, cualificación de soldadores y montaje de la caldera.

Una visita se hace a la terminación para ver la prueba hidrostática y examinar el trabajo general. Si la caldera ha sido terminada satisfactoriamente de acuerdo con las especificaciones del código ASME, la caldera recibe el sello y se firman las hojas de datos del fabricante por el inspector.

19. ¿Qué tipo de documentación debe cumplir un fabricante de calderas o recipientes a presión para ser sellado y reconocido como de calidad ASME?

RESPUESTA: Al fabricante se le exige mantener cierta documentación. El tipo de documentación necesaria para satisfacer los requisitos del Código varía según las diferentes secciones del Código. En general, el fabricante debe guardar todas las radiografías y debe también preparar un informe de datos del fabricante, que debe ser firmado por el representante del fabricante y el inspector autorizado. El inspector autorizado no debería firmar el informe de datos hasta que lo haya comprobado cuidadosamente para estar seguro de que se describe la caldera o recipiente a presión al cual se aplica, que la caldera o recipiente cumple con el Código y que el informe de datos ha sido formado por el representante del fabricante. Estos informes de datos deben ser registrados por el National Board. Para recipientes nucleares, se requiere una documentación más extensa.

20. ¿Exige el código ASME que un fabricante de calderas tenga un programa formal de control de calidad?

RESPUESTA: El fabricante o montador de calderas deberá tener un sistema de control de calidad el cual establecerá que todos los requisitos del Código se han cumplido, incluyendo materiales, diseño, fabricación, examen (por el fabricante) e inspección (por el inspector autorizado). Supuesto que todos los requisitos del Código están adecuadamente identificados, el sistema debe incluir provisiones para satisfacer cualquier requisito por parte del fabricante o usuario que exceda los requisitos mínimos del Código y debe incluir provisiones para el control de calidad del trabajo que no cae bajo la normativa del Código. En tales sistemas, el fabricante puede hacer cambios en partes del sistema que no afecten a los requisitos del Código, sin asegurar la aceptación por el inspector autorizado.

21. ¿Cómo se clasifican los fuegos y qué sustancias están implicadas?

RESPUESTA: Hay tres clases de fuegos: la clase A comprende los combustibles ordinarios tales como la madera, papel y tejido, que normalmente pueden extinguirse con agua. La clase B se aplica a aceites, grasa, gasolina, pintura y sustancias similares que no se pueden apagar con agua. La clase C se aplica a los fuegos en equipos eléctricos. Algunas jurisdicciones clasifican los metales combustibles como el magnesio y el sodio como clase D.

22. ¿Cuáles son los extintores portátiles que son adecuados solamente para fuegos de clase A?

RESPUESTA: De agua, sosa ácida, agua con cartucho de CO₂, cloruro cálcico (anticongelante) y depósito de agua con bomba.

23. ¿Para qué tipo de agua se usa el extintor de espuma?

RESPUESTA: De clase B, para fuegos de aceite, grasa, gasolina y pintura.

24. ¿Cómo definiría la autoignición?

RESPUESTA: Es la mínima temperatura que se necesita para iniciar la combustión de un sólido, líquido o gas sin requerir chispa o llama para iniciar la combustión.

25. ¿Cuál es el propósito de una tubería vertical montante?

RESPUESTA: Las tuberías verticales montantes se usan para hacer llegar el agua hasta los pisos superiores de los edificios altos para luchar contra el fuego. La gente de planta usa estas bocas y mangueras de conexión que están localizadas en cada planta y conectadas a la tubería vertical montante. Estas tuberías y bocas de incendios ayudan al departamento de bomberos a tener agua rápidamente en los pisos altos del edificio.

26. ¿Hay alguna clasificación para las tuberías montantes?

RESPUESTA: Esto puede depender de la jurisdicción. Un sistema de clasificación común está basado en si se trata de una tubería húmeda o un sistema seco y se clasifican como sigue: Los sistemas húmedos tienen una válvula de suministro abierta y agua a presión todo el tiempo. Esto puede crear un riesgo de fuga. Un segundo sistema usa dispositivos apropiados para admitir agua automáticamente por apertura de válvula de manguera. Otro sistema admite agua a través de dispositivos de operación manual, de acción remota localizada en cada punto de la estación de mangueras. Las tuberías montantes secas reciben el agua a través de la conexión del departamento de bomberos y están normalmente localizadas en el exterior del edificio en conexión de calle a la red de incendios pública.

27. ¿Dónde deberían estar situadas las salidas de conexión de mangueras de las tuberías montantes?

RESPUESTA: Las salidas o conexiones para mangueras deberían estar cercanas o en la escalera o cerramientos, o incluso en la salida de incendios de los viejos edificios, de modo que sean fácilmente accesible al departamento de bomberos local.

28. ¿Qué tipos de sistemas de aspersores se usan para proteger una propiedad contra la diseminación y extensión de fuego o incendio?

RESPUESTA: Tubería húmeda, tubería seca, rociado o inundación de agua, precaución y ciclo de fuego.

29. ¿Por qué se usan los sistemas de inundación?

RESPUESTA: Se usan para inundar una gran superficie de una vez, por ejemplo, en zonas de riesgo. Esto evitará la dispersión del fuego debida a los humos y gases que pueden generarse por el fuego. En vez de que sólo una cabeza aspersora, todas las cabezas aspersoras en la zona deseada abrirán al mismo tiempo y, cuando el fuego hace aparición, una válvula de inundación abre mediante sensores estratégicamente colocados en la zona que actúan y son activados por la temperatura u otros criterios como el del humo, y esto permite al agua fluir por todos los aspersores en la zona designada.

30. ¿Qué tipos de aspersores se usan en edificios no calefactados?

RESPUESTA: Generalmente, se usan los de tubo seco. Los sistemas de tubo húmedo requieren soluciones anticongelantes y deben estar adecuadamente separados del suministro público de agua para evitar contaminación. Esto requeriría un tanque de almacenaje de solución anticongelante que estuviese adecuadamente dimensionado para la exposición al medioambiente. Como los sistemas inundados tiene las cabezas aspersoras activadas por sensores que admiten agua si se detecta fuego, estos sistemas inundados están correctamente diseñados para ser utilizados en el lado de suministro del agua y para evitar las congelaciones del suministro.

31. ¿Necesitan las tuberías una comprobación para evitar los posibles daños por helada?

RESPUESTA: Antes del tiempo de las heladas, es prudente comprobar todos los puntos bajos de drenaje de agua para prevención de los daños posibles del hielo en las tuberías secas.

32. ¿Cómo trabaja un extintor de producto químico seco?

RESPUESTA: Éstos se utilizan para fuegos de clase B y C. El extintor debería dirigirse a un ángulo del fuego y después dirigir la corriente barriendo a través de la llama. Los productos químicos liberan un gas que ahoga la llama, mientras una niebla o producto químico seco escuda al operador del calor. El rango del pulverizador va desde 8 a 12 pies (de 2,4 a 3,6 m).

33. ¿Qué hace actuar y qué produce óxido y herrumbre en un espacio confinado en que se ha situado aislado un aparato como una caldera o depósito?

RESPUESTA: La mayoría de las superficies de acero consumen oxígeno para la oxidación, y esto produce disminución del contenido de oxígeno por debajo del 19 por 100 especificado por la OSHA como contenido mínimo en el espacio confinado.

34. ¿Qué consideraciones son importantes para el personal que tiene que rescatar a una persona de un espacio confinado?

RESPUESTA: Mucha gente ha muerto tratando de rescatar a una persona de un espacio confinado. Antes de que el que va efectuar el rescate entre en un espacio confinado, ha de estar seguro de que hay suficiente oxígeno. Dependiendo del contenido previo del espacio confinado, puede ser necesario comprobar, mediante el uso de aparatos detectores de gases, si existen humos o gases tóxicos. Puede ser necesario soplar aire en el espacio confinado. Finalmente, determine antes de entrar el mejor método para alcanzar y rescatar la persona dañada y qué equipo adicional o ayuda puede necesitarse para hacerlo con seguridad.

35. ¿Qué precauciones deberán tomarse antes de entrar en una virola u hogar de calderas?

RESPUESTA: Si la purga entra en una línea común a otras calderas en marcha, asegúrese de que todas las válvulas de la línea que da a la caldera abierta estén cerradas. Si en otra caldera están trabajando sobre el mismo colector, ambas válvulas de corte deben estar cerradas y la válvula de goteo entre ellas debe estar abierta. Cualesquiera otras válvulas de la línea en presión que conduzcan a la caldera deben comprobarse. El ingeniero encargado y el operador deben decir si enviar a alguien hacia el interior. Una persona responsable deberá estar estacionada en el agujero de entrada de hombre o puerta de entrada mientras haya alguien dentro de la caldera. En el interior de la virola, debería comprobarse su contenido de oxígeno con un instrumento para regulación OSHA de espacio confinado.

36. Explique el término «código de seguridad vital».

RESPUESTA: Los edificios de propiedades de alta ocupación como oficinas, escuelas, hospitales, enfermerías, guarderías e instalaciones similares donde un gran número de personas puedan verse afectadas inmediatamente por el humo y calor de un incendio antes de que puedan salir del edificio, requieren especiales consideraciones de protección contra incendios y estas consideraciones especiales se denominan «código de seguridad vital», ya que se dirigen a las necesidades de la gente y no a las necesidades de protección de la propiedad.

La NFPA ha establecido un «código de seguridad vital» especial para tales casos y ocupaciones, y muchas jurisdicciones han incluido estos requerimientos de la NFPA en las leyes o regulaciones locales. El objetivo es minimizar el efecto del calor y del humo a los ocupantes de tales instalaciones de modo que puedan ser retirados con seguridad de tales lugares sin daños serios.

Todos los operadores de servicio de planta deberían estar familiarizados con los sistemas de seguridad vital. Entre estos ítems, a los que se da énfasis en estos códigos, están los siguientes:

1. Tener suficientes salidas utilizables por planta, basadas en la carga de ocupación, que puedan dirigir a los ocupantes del edificio al exterior del mismo con seguridad. Las escaleras deben de ser a prueba de incendios.
2. Las plantas y edificios deberán estar compartimentados con construcción de tabiques y puertas para limitar la dispersión del fuego, humo y calor.
3. Todas las instalaciones deberán tener un sistema de comunicación de emergencia que haga posible dar instrucciones a los ocupantes sobre qué hacer en caso de emergencia.
4. La protección automática mediante aspersores se recomienda generalmente en zonas de alta ocupación humana.
5. Para ocupación de tipo teatro y auditorio se dan una guías o líneas de dimensionamiento correcto de los pasillos y vías de acceso para las zonas laterales.
6. Para los edificios de gran altura, algunos de los ítems importantes son los siguientes:
 - a) Las escaleras deben tener alumbrado por batería de repuesto.
 - b) Por encima de una determinada altura o superficie en planta, se necesitan generadores de emergencia dimensionados para la carga crítica de emergencia del edificio. Otros edificios, como los hospitales, precisan tener generadores de emergencia.

- c) Los ascensores deben estar dirigidos automáticamente al piso primero o al nivel de la calle en caso de incendio y estar disponibles solamente para el personal de bomberos.
- d) En algunas ciudades, los edificios elevados deben tener obligatoriamente en el lugar un ingeniero designado y aprobado para prevención de incendios que es responsable de toda la seguridad contra incendios de la instalación.

Los operadores de planta deben estar implicados en el equipamiento, mantenimiento e inspección del código de seguridad vital y contra incendios y deberían estar familiarizados con el código de seguridad vital de la NFPA, así como con las leyes locales que regulan los requisitos de ocupación para la instalación en la cual trabajan.