

ANÁLISIS DE FALLAS ELECTROMECÁNICAS EN CALDERAS PIROTUBULARES

ANALYSIS OF ELECTROMECHANICAL FAILURES IN PYROTUBULAR BOILERS

Miguel Ángel Sonco Choque*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>Establecido como objeto de estudio: el funcionamiento normal de los equipos de transferencia de calor con cambio de estado del agua (líquido-vapor), provocado por el paso de los gases de combustión de un combustible al interior de una serie de tubos (calderas pirotubulares).</p> <p>Frente a la presencia de (FELMCPT) fallas electromecánicas en el funcionamiento normal de las calderas pirotubulares. Se identificaron 14 señales que pueden provocar (FELMCPT) y en función a éstas, establecer las acciones correspondientes de solución. Además de presentar normas de seguridad que predisponen al personal encargado de la operación de calderas a cumplirlas continuamente, como parte de las ventajas de desarrollar un programa de mantenimiento preventivo para este tipo de equipos industriales.</p> <p>PALABRAS CLAVE: Caldera pirotubular, vapor de agua, gases de combustión calientes, falla, mantenimiento preventivo e inspección.</p>	<p>Established as an object of study: the normal operation of heat transfer equipment with a change of state of the water (liquid-steam), caused by the passage of the combustion gases of a fuel inside a series of tubes (pyrotubular boilers).</p> <p>Faced with the presence of (FELMCPT) (ELMFCFT electromechanical failures in the normal operation of fire tube cauldrons. 14 signals that can cause (FELMCPT) were identified and based on these, establish the corresponding solution actions. In addition to presenting safety regulations that predispose the personnel in charge of pyrotubular boiler operation to continuously comply with them, as part of the advantages of developing a preventive maintenance program for this type of industrial equipment.</p> <p>KEYWORDS: Pyrotubular boiler, steam, hot combustion gases, failure, preventive maintenance and inspection.</p>	<p>Estabelecendo como objeto de estudo: o funcionamento normal de equipamentos de transferência de calor com mudança de estado da água (líquido-vapor), provocada pela passagem dos gases de combustão de um combustível no interior de uma série de tubos (caldeirão de tubo de fogo).</p> <p>Diante da presença de (FELMCPT) falhas eletromecânicas no funcionamento normal de caldeirão de tubo de fogo. Foram identificados 14 sinais que podem causar (FELMCPT) e com base neles estabelecer as ações de solução correspondentes. Além de apresentar normas de segurança que predispoem o pessoal encarregado da operação de caldeirão de tubo de fogo cumpri-las continuamente, como parte das vantagens de desenvolver um programa de manutenção preventiva para este tipo de equipamento industrial.</p> <p>PALAVRAS-CHAVE: Caldeirão de tubo de fogo, vapor, gases quentes de combustão, falha, manutenção preventiva e inspeção.</p>
<p>History of the article: Received 08/10/2022. Style review 11/10/2022. Accepted 15/10/2022</p>		

INTRODUCCION

Las calderas pirotubulares¹ modernas se construyen según normas de fabricación de prestigio internacional, y están provistas de dispositivos automáticos de operación y seguridad, haciendo pensar que la operación de estos equipos no requiere la atención de personal capacitado. Este aspecto humano en muchos casos, deriva en la operación de las calderas, por parte de personal con poca experiencia y/o que no sigue rigurosamente las normas de operación. Sin considerar que todo recipiente sujeto a presión y que se encuentre bajo fuego es potencialmente peligroso, y sus controles automáticos no sustituyen las normas de seguridad.

La confiabilidad² de una caldera no depende exclusivamente del fabricante, ya que este al cumplir con las normas de construcción universalmente reconocidas, deslinda totalmente su responsabilidad, también los responsables de su instalación siguiendo los reglamentos y normas pueden dejar de lado los riesgos que presenta una caldera. Pero, a la persona encargada de operar una caldera, se le responsabiliza permanente, y no puede dejar de pensar en los cuidados a seguir para mantener condiciones óptimas de seguridad.

Por lo indicado anteriormente, el mantenimiento de calderas debe ser una actividad rutinaria muy bien controlada en el tiempo y estrechamente vinculada con el personal encargado de operar estos equipos. Por lo tanto; al desarrollar un trabajo de identificación de fallas

electromecánicas en el funcionamiento normal de calderas pirotubulares (FELMCPT), permite que éstas operen con un mínimo de paradas en producción, reduciendo costos de operación y dándole seguridad a su funcionamiento, principios básicos necesarios para efectuar un buen mantenimiento electromecánico de estos equipos.

En consecuencia, en el presente trabajo se reúne los resultados de un estudio de caso referido con la identificación de señales de fallas en una caldera del tipo tubos de humo marca INGPROCON Lorini³; información bibliográfica y aportes de personas que tienen relación directa con el manejo operativo y mantenimiento de calderas pirotubulares. Base de información para establecer un marco conceptual sobre las señales que identifican las fallas y un conjunto de acciones de apoyo, que sirven como referencia en tareas de mantenimiento electromecánico de cualquier tipo y marca de caldera pirotubular.

DESARROLLO

Las calderas pirotubulares o de tubos de fuego⁴, se utilizan ampliamente en sectores de servicios hospitalarios y hoteleros, lavanderías y otras actividades donde el uso que se hace del vapor, no requiere de altas presiones importando más la transferencia del calor. El vapor se genera a través de la transferencia de calor a presión constante, donde el fluido, se calienta y cambia de estado por acción de cualquier fuente de energía principalmente (calórica combustibles y eléctrica).

¹ Equipo industrial que produce vapor de agua por intercambio de calor (conducción) con una fuente que emite calor. En las calderas pirotubulares los gases de combustión del fogón transcurren por una serie de tubos incluidos en un recipiente de agua sellado y a presión, que calienta y produce el cambio de fase del agua a (vapor).

² Calidad de confiable (confianza) en el buen funcionamiento de algo (DRAE).

³ Capacidad calorífica: 701350 Kcal.h⁻¹, capacidad para generar 1000 Kg.h⁻¹ de vapor y una presión de trabajo de 10 Bar.

⁴ Las calderas también denominadas de baja capacidad (CBC).

Las calderas son un caso particular de intercambiadores de calor con cambio de fase y aumento de presión.

a) Caldera pirotubular de estudio

Especificaciones Técnicas de la Caldera

Datos generales

MARCA: INGPROCON Lorini S.R.L.
CAPACIDAD CALORÍFICA: 701350 (Kcal.h⁻¹)
PRODUCCIÓN DE VAPOR: 1000 Kg.h⁻¹
PRESIÓN TRABAJO: 10(Bar) 10,20 (kgf.cm⁻²)
SUPERFICIE DE RADIACIÓN A: 40 m²

Instrumentos y accesorios:

- Manómetro principal de presión de vapor
- Válvulas de seguridad
- Columna nivel de agua con cristal de nivel y juego de llaves de bronce
- Alarma por bajo nivel
- Interruptores de seguridad
- Revestimiento aislante exterior

Quemador automático

Marca: INGPROCON Lorini S.R.L.

Componentes:

- Motor del quemador WEG de 2HP-2850 rpm
- Turbina soplante
- Programador encendido BRAHMA, tipo MF2
- Focélula marca BRAHMA, tipo UV1
- Transformador de encendido BRAHMA tipo T11



Crédito: MA, Sonco Ch., 2022

Fotografía 1: Caldera Pirotubular



Crédito: MA, Sonco Ch., 2022

Fotografía 2: Quemador Caldera

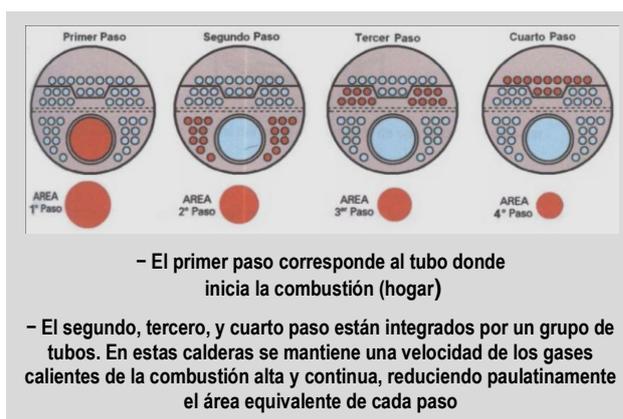
b) Descripción del equipo

- **Chimenea:** Construida con lámina negra e incluye faldón bota aguas, sombrero de protección y recubrimiento anticorrosivo (parte exterior).
- **Bombeo agua de alimentación:** El equipo de bombeo está acoplado a un motor eléctrico, incluye arrancador magnético, filtro para la succión y manómetro de 64 mm, de 0 a 21 kg.cm⁻².
- **Lote de válvulas:** Principal de vapor, de retención (2), alimentación de agua, de purga, de cierre rápido, de globo, de cierre lento (2).
- **Tablero de control integrado a la caldera:** Programador integrado, interruptor para motor del ventilador, alarma sonora por falta de flama, alarma sonora por bajo nivel de agua, control límite de presión de vapor y luces indicadoras de funcionamiento. El transformador de ignición se encuentra instalado en la tapa frontal de la caldera.
- **Tanque de retorno de condensados:** Incluye base estructural de sustentación, cristal de nivel para observación, control de nivel para flotador (McDonell), tubo de distribución para retorno de alta presión colocado en el interior del tanque, válvulas de salida y de purga, coples de ventilación y admisión de condensados de baja presión.

- **Equipo de ablandamiento de agua:** Consiste en una columna de ablandamiento y un tanque para salmuera con saturador. Una válvula manual de tres pasos para controlar los servicios de retrolavado y regeneración con una sola palanca. Además incluye válvulas para salmuera y muestreos de agua, manómetro de control y tubería completa desde la admisión hasta la salida del equipo.

c) Características técnicas (pasos)

Los gases en el interior de los tubos van cambiando de dirección, desde la parte frontal a la parte posterior y viceversa, hasta llegar a la chimenea y ser expulsados, la caldera puede tener hasta cuatro cambios de dirección de los gases de combustión a los que se les denomina (pasos). Ver figura 1.



Fuente: Elaboración propia sobre información de SPIRAX/SARCO
Principios básicos de la Ingeniería del vapor

Figura 1: Áreas totales de los diferentes pasos caldera pirotubular de cuatro pasos

En las calderas pirotubulares modernas se tienen cuatro pasos para los gases de combustión, este número de pasos, admite un mayor recorrido de gases; mejorando así, la transferencia de calor que alcanza rendimientos mayores al 80 por ciento. Actualmente los cuatro pasos es un límite práctico.

Cuando los gases calientes atraviesan los cuatro pasos, transfieren calor al agua de la caldera, efecto que produce el enfriamiento paulatino de los gases y la reducción del volumen gaseoso. En consecuencia, a medida que circulan los gases por los diferentes pasos, el número de tubos se reducen proporcionalmente, para mantener la velocidad elevada de los gases y que estos no se estacionen en su interior, evitando de esta manera que los gases retenidos obstruyan los tubos.

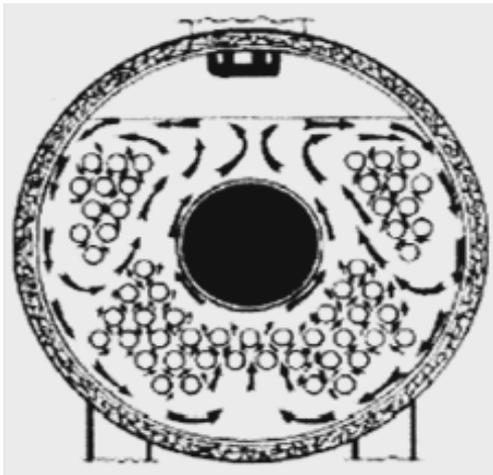
d) Circulación de agua

Formación de las corrientes convectoras: El agua al calentarse pierde densidad y tiende a elevarse hacia la parte superior del recipiente; inversamente el agua fría tiene mayor densidad y baja hacia el fondo.

Cuando el agua llega al punto de ebullición se forma pequeñas burbujas de vapor, estas son arrastradas por la circulación del agua, y como el vapor es más ligero que el agua, se elevan rápidamente y este movimiento ocasiona la turbulencia y circulación. Ver figura 2.

En las calderas de tubos de fuego (pirotubulares) el agua asciende por entre los tubos, generalmente con mayor rapidez en la parte posterior que en la frontal. El agua

más fría baja a lo largo de la pared del cuerpo, para luego subir rodeando el tubo del hogar y completar el ciclo. En calderas piro-tubulares pequeñas la circulación del agua es mejor debido a la drástica reducción de volumen.



Fuente. SPIRAX/SARCO Principios Básicos de la Ingeniería del Vapor.⁵

Figura 2: Circulación natural de agua al interior de una caldera piro-tubular.

e) Protocolo análisis de fallas⁶:

Antes de analizar las posibles fallas, se debe comprobar primeramente si se cumplen las condiciones básicas para el funcionamiento correcto, respondiendo a las siguientes interrogantes:

1. ¿Hay suministro de energía eléctrica?
2. ¿Existe en la red de alimentación la presión correcta del gas, y está abierta la llave de paso?
3. ¿El interruptor de falta de agua, está correctamente ajustado?
4. ¿Ha variado el caudal de aire de combustión o el consumo de gas?

Si se observa que el origen de la falla no está en ninguno de los puntos anteriores, deberán comprobarse las funciones relativas al quemador. - Por ejemplo, se encuentra el quemador fuera de funcionamiento, bloqueado en posición de falla-. Para buscar el origen de la falla se procederá a desenchavar y conectar el quemador.

Pero antes hay que comprobar la presencia de las señales siguientes:

Señal 1: Arranque, el motor del quemador no funciona.	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
No hay tensión	Cerrar el circuito de corriente
Fusible defectuoso	Recambiarlo
Motor defectuoso	Recambiar
Circuito de corriente de regulación interrumpida	Buscar interrupción, conectar el regulador o el presostato y conectar o desbloquear
Alimentación de gas interrumpida llave de paso cerrada	Abrir la válvula de paso: en caso de falta prolongada, avisar a la empresa suministradora del gas
Aparato de mando defectuoso	Recambiar

⁵ <http://www.spiraxsarco.com> Principio básicos de la Ingeniería del Vapor.

⁶ Evento después del cual un artículo, elemento, aparato, dispositivo, sistema. Deja de cumplir parcial o totalmente sus funciones, alterando su capacidad de trabajo.

Señal 2: Falta de aire.	
- El motor del quemador arranca o después de la preventilización a potencia total se produce la desconexión por falla - El motor del quemador arranca y se desconecta después de aproximadamente 20 segundos sin ejecutar control de estanqueidad	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Presostato de aire defectuoso	Cerrar el circuito de corriente
Tubo del presostato sucio	Recambiarlo
La electroválvula no estanca, se produce la indicación en el transmisor del programa de control de estanqueidad cuando el programador esta nuevamente en posición de arranque	Recambiar
Soplante sucio	Buscar interrupción, conectar el regulador o el presostato y conectar o desbloquear
Giro invertido motor del quemador	Abrir la válvula de paso: en caso de falta prolongada, avisar a la empresa suministradora del gas

Señal 3: Encendido.	
El motor del quemador arranca, hay tensión en borne 16 (aparato de mando), no hay encendido, enseguida se desconecta por falla	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
La distancia entre los electrodos es excesiva	Efectuar ajuste de distancia del electrodo
Los electrodos o los conductos de encendido tienen contacto a masa, cuerpo de aislamiento	Eliminar contacto a masa, recambiar los electrodos o los cables dañados
Transformador de encendido defectuoso	Recambiar

Señal 4: No se produce la llama.	
El motor arranca y se produce el encendido, enseguida se produce la desconexión por falla. El motor del quemador arranca, el encendido es correcto, enseguida se produce la desconexión (no por falla).	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
La electroválvula no se abre, bobina defectuosa, o el cable está interrumpido	Recambiar la electroválvula o eliminar la interrupción del cable; controlar la tensión en los bornes.
Caída de presión del gas, abriendo la electroválvula o al pasar el gas por el filtro	Limpiar o cambiar

Señal 5: Después de formada la llama se produce la desconexión.	
Aun formada la llama de encendido; al nivel máximo de la potencia nominal, se produce la desconexión	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Filtros sucios	Limpiar
El regulador de presión trabaja demasiado lento	Controlar el inyector de toma de aire

Señal 6: Control de llama ionizante.	
El motor del quemador arranca, se escucha el encendido y se ve la formación normal de la llama, luego hay desconexión por falla	
CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Fotocelda ultravioleta sucia	Limpiar (eliminar huellas de aceite y grasa)
Iluminación demasiado débil	Comprobar ajuste de combustión
Fotocelda ultravioleta defectuosa	Cambiar

Señal 7: Combustión incompleta.

Caldera trabajando, pero los análisis de gases de combustión están por encima de los valores paramétricos

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Exceso de humo negro	Reducir proporción de combustible
Exceso de humo blanco	Reducir proporción de aire

Señal 8: Fuga en registros.

La caldera tiene fuga de agua en registros

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Están flojas las tuercas	Sujetar (sin presión en la caldera)
Empaques defectuosos	Cambiar empaque y limpiar
Asientos sucios con sarro	Limpieza profunda y cambio de empaque

Señal 9: Válvula de purga.

Al realizar la purga en la caldera se verifican fugas

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Los asientos en las válvulas están sucios	Limpieza del asiento
Los asientos en las válvulas están desgastados	Asentarlos, o cambiar válvula

Señal 10: Tapa de enfrente.

Al estar trabajando la caldera, existe goteo de agua

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Fusible de seguridad fundido	Reponerlo por uno nuevo
Lagriman los tubos flux	Cambiar

Señal 11: Control de nivel.

La caldera trabaja, pero existe fuga de agua en control del nivel

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Fuelle roto	Cambiar por uno nuevo
Empaques en mal estado	Cambiarlos
Cuerpo poroso	Cambiar el control

Señal 12: Bomba de agua.

Al estar trabajando la caldera empieza a bajar el nivel de agua, o no está funcionando la bomba de alimentación

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Rebota el interruptor termo magnético	cambiar relevador bimetalico
Switch manual abierto	Cerrarlo
Bobina el arrancador	Cambiarla por una nueva
Capsulas de mercurio rota	Cambiar
Impulsores rotos	Cambiar
Cuña de la flecha	Cambiar
Cople flexible en mal estado	Cambiar
Válvula de retención defectuosa	Cambiar
Tubería de acceso a la caldera tapada	Limpiar obstrucciones
Control de nivel tapado	Limpiar obstrucciones

Señal 13: La caldera se llena completamente de agua.

Fallas en el control de alimentación, provoca inundación

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Flotador de control de nivel perforado	Reponer
Corto en la capsula de mercurio	Cambiar la capsula
Incrustaciones que obstruyen al flotador	Limpieza interior
Platinos muy ondulados no desconectan, se quedan adheridos	Cambiar platinos

Señal 14: Control de presión.

Cuando está trabajando la caldera, no operan los controles de presión, ocasionando que se abran las válvulas de seguridad, sin activar la alarma por alta presión

CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
Cápsula de mercurio carbonizada	Cambiar cápsula
Fuelle de control de presión dañado	Reponer
Control de presión desnivelado	Ajustar
Corto circuito en el alambrado	Reparar los daños
Tubería de acceso al control obstruida	Efectuar limpieza de tubería

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD PARA EL PERSONAL ENCARGADO DE OPERAR UN CALDERO PIROTUBULAR

NUNCA

Deje de anticiparse a las emergencias. No espere hasta que algo suceda para empezar a actuar

SIEMPRE

Estudie cada emergencia y busque el plan de acción a seguir

NUNCA

Empiece el trabajo en una planta sin conocer la ruta de cada tubería y sin conocer la ubicación y propósito de cada válvula

SIEMPRE

Revise las válvulas o dispositivos rápidamente, cuando hay una emergencia pero sin confundirse

NUNCA

Permita que los sedimentos se acumulen en las conexiones de los niveles de vidrio o de las columnas de agua

SIEMPRE

Purgue cada conexión de nivel y/o de columna de agua , al menos una vez al día

NUNCA

Deje una válvula de purga abierta y sin atención cuando la caldera está bajo presión o está encendida

SIEMPRE

Controle el nivel de agua en el visor de nivel , mientras realiza la purga

NUNCA

De órdenes verbales para operaciones importantes o informe de tales operaciones verbalmente sin registro escrito. Tenga algo en que apoyarse cuando usted lo necesite

SIEMPRE

Acompañe las órdenes de operaciones importantes con un memorándum escrito. Use un libro para registrar cada hecho importante o suceso inusual

NUNCA

Encienda una caldera sin haber comprobado el nivel de agua

SIEMPRE

Revise al menos un nivel de agua antes de encender. Comprobado los grifos de nivel

NUNCA

Encienda una caldera sin verificar todas las válvulas

SIEMPRE

Asegúrese que las válvulas de purga estén cerradas y los venteos. Abiertas las válvulas de columnas de agua y los grifos de manómetros

NUNCA

Abra una válvula bajo presión rápidamente. El repentino cambio de presión o golpe de ariete resultante puede causar la rotura de la tubería

SIEMPRE

Utilice un by pass (paso) si lo hay. Despegue la válvula de su asiento y espere a que la presión se iguale. Después, abra lentamente

NUNCA Corte o retire de línea a una caldera, a no ser que la presión esté dentro del rango de la presión del colector. Someter una caldera cambios de presión repentinos es peligroso	SIEMPRE Vigile el manómetro y esté preparado para cortar las calderas abriendo la apertura de la válvula de corte sólo cuando las presiones estén igualadas
NUNCA Suba la presión de una caldera sin probar el funcionamiento de la válvula de seguridad	SIEMPRE Despegue la válvula de su asiento manualmente con su palanca y mientras la caldera alcanza $\frac{3}{4}$ de presión de apertura automática
NUNCA Dé por seguro que las válvulas de seguridad están en buenas condiciones	SIEMPRE Suba periódicamente y despegue la válvula de su asiento con la palanca de elevación mientras la caldera esté a presión. Pruebe a subir la presión de despegue al menos una vez al año
NUNCA Aumente la presión de disparo de una válvula de seguridad sin autorización. Han ocurrido serios accidentes por fallos en la observación de esta regla	SIEMPRE Consulte a un inspector de calderas autorizado y acepte sus recomendaciones antes de aumentar el ajuste de presión de la válvula de seguridad
NUNCA Cambie el ajuste de una válvula de seguridad más del 10 por ciento. El funcionamiento correcto depende de un muelle adecuado	SIEMPRE Mantenga las válvulas conectadas, con un resorte nuevo y recalibrado por el fabricante para cambios de no más del 10 por ciento
NUNCA Ajuste una tuerca, tornillo o rosca de tubo bajo presión de vapor o aire comprimido	SIEMPRE Lo que está a punto de romperse no tiene una señal o signo de alarma
NUNCA Golpee un objeto sometido a presión de vapor o aire comprimido	SIEMPRE Evite este accionar
NUNCA Permita que personas no autorizadas toquen lo que no deben en el equipo de una planta de vapor	SIEMPRE Mantenga fuera de la planta a los extraños y coloque la operación de la planta en manos de personas adecuadas
NUNCA Deje una válvula de purga abierta y desatendida cuando la caldera está a presión o con el quemador en marcha	SIEMPRE Compruebe el nivel de agua antes de purgar y tenga una segunda persona vigilando el nivel de agua mientras usted purga la caldera. Cierre la válvula de purga y después vuelva a abrir
NUNCA Permita reparaciones importantes en la caldera sin autorización	SIEMPRE consulte a un inspector autorizado en calderas antes de proceder a efectuar reparaciones de caldera

NUNCA Trate de encender un segundo quemador mediante la llama del primero funcionando. Puede provocar el retroceso de la llama o una explosión	SIEMPRE Siga la secuencia de arranque del fabricante sobre las calderas multi quemador, incluyendo la prueba de ignición de llama comprobando mediante los controles de los quemadores instalados, evitando así, la explosión del hogar
NUNCA Intente encender un quemador sin ventilar el hogar y el resto de los conductos de la caldera	SIEMPRE Permita al ventilador limpiar el hogar de gases y polvo según el período de purgar establecido

CONCLUSIONES

El protocolo de análisis de fallas desarrollado sirve para diseñar un plan de mantenimiento que sea acorde con las necesidades que tienen los calderos pirotubulares.

Las fallas que se observan comúnmente en las calderas, son debidas principalmente a la falta de atención en los procedimientos de encendido, de apagado, de limpieza, a la concentración de suciedad y a exceder la capacidad de trabajo que tiene la caldera.

Finalmente, la correcta aplicación de este protocolo relacionado con acciones efectivas de mantenimiento, busca reducir las paradas del equipo y principalmente las reparaciones innecesarias en calderos pirotubulares de baja capacidad (CBC).

BIBLIOGRAFÍA

Equipos Industriales,1990, Guía práctica para reparación y mantenimiento, Tomo 1, Mc Graw - Hill/Interamericana de México, S.A., México,

Cleaver-Brooks, Modelo CB Calderas Unitarias,1992, Manual de operación, servicio y repuestos, Número de parte del manual: (750-112),USA,

E.Pull.,1977, Calderas de Vapor, selección, funcionamiento y conservación de calderas de vapor y de su equipo auxiliar, tercera ed., Gustavo Gili S.A., Barcelona - España,

Blanco, M., 1994, La Descalsificación del agua por resinas Intercambiadoras de iones, ASTRAMATIC, México,

<http://www.conae.gob.mx> Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae),

<http://www.spiraxsarco.com> Principio básicos de la Ingeniería del Vapor.

<http://www.conuee.gob.mx> Tratamiento de agua para su utilización en calderas,

<http://www.econext.com.mx> Calidad de agua para generadores de Vapor,

<https://www.redalyc.org/journal/1813/181349391005/html/>

<http://www.calderasyrecipientes.com/>

norbertospinelli@calderasyrecipientes.com.

(*), El autor es: Licenciado en Electromecánica, Docente Carrera de Electromecánica Facultad de Tecnología – UMSA.