



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

cpc@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión
Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Tamajón-Reyes, Carlos H.; Mojicar-Caballero, Segismundo
ANÁLISIS DE FALLOS: EL CASO DE CALDERAS PIROTUBULARES Y SU IMPACTO
AMBIENTAL

Ciencia en su PC, núm. 2, abril-junio, 2016, pp. 34-43
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181349391005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ANÁLISIS DE FALLOS: EL CASO DE CALDERAS PIROTUBULARES Y SU IMPACTO AMBIENTAL

FAILURE ANALYSIS: THE HISTORY CASE IN FIRE BOILERS AND AN APPROACH TO THE ENVIRONMENTAL IMPACT

Autores:

Carlos H. Tamajón-Reyes, tamajon@uo.edu.cu¹

Segismundo Mojicar-Caballero, mojicar@uo.edu.cu¹

¹Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

En la investigación se realizó un estudio integral de las calderas pirotubulares o de baja capacidad (CBC) basado en la teoría de la fiabilidad y técnicas de diseño, para identificar las causas y efectos de los fallos en este tipo de calderas. Del mismo se derivaron soluciones para la reducción de su frecuencia, consecuencias y riesgos asociados al medioambiente. Se analizó además el impacto ambiental directo en las zonas aledañas a estos equipos mediante la medición de la concentración de los contaminantes fundamentales. Para la investigación se utilizaron datos de archivo de los explotadores y criterios autorizados del Grupo de Asesoría y Diagnóstico a Equipos Intercambiadores de Calor (GADIC) del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) y de la Empresa de Calderas ALASTOR de Santiago de Cuba.

Palabras clave: *fiabilidad, fallas, mantenimiento, medioambiente.*

ABSTRACT

The research is about an integral study to the low capacity boilers (LCB) based on the theory of the reliability and technical design in order to identify the causes and effects of failures in the boilers. Solutions for the reduction of the failures frequency, consequences and risks impacting to the environment are derived of the study. It is also analyzed the direct environmental impact in the areas near by these equipment location by means of the measurements of the fundamental pollutants concentration. Research data files used were taken by the operators judgments and approved criteria for the Advisory Group on Diagnostic Equipment Heat exchangers (GADIC) at the National Center for Applied Electromagnetism (CNEA) and ALASTOR Boiler Company of Santiago de Cuba.

Key words: *reliability, failures, maintenance, environment.*

INTRODUCCIÓN

Las Calderas de Baja Capacidad (CBC), también llamadas pirotubulares o de tubos de fuego, se utilizan ampliamente en sectores de servicios hospitalarios y hoteleros, lavanderías y otras facilidades donde el uso que se hace del vapor no requiere de altas presiones y lo más importante es el aprovechamiento del calor. En sí, las CBC son bastante sencillas desde el punto de vista estructural y funcional y no requieren de instalaciones complejas para garantizar su explotación estable.

A pesar de su facilidad de explotación, las CBC no están exentas de ser susceptibles a problemas técnicos y operacionales, cuyas consecuencias se reflejan no solo en afectaciones de disponibilidad, sino también en el incremento de riesgos de accidentes y un aumento del impacto negativo sobre el medioambiente. Estos efectos negativos asociados a la explotación de estos equipos son más impactantes si se considera que la mayoría están emplazados en zonas urbanas con una alta densidad poblacional. En la ciudad de Santiago de Cuba, por ejemplo, se ha observado una mayor concentración de contaminantes del aire en la zona del reparto Sueño, donde se encuentran varias unidades hospitalarias y la fábrica de helados (CNEA 2007-2009).

Esto impone que sea necesario realizar un monitoreo continuo de las condiciones de operación de las CBC, de modo que permita evaluar las causas, bien sean de orden técnico u operacionales, que inciden en estos valores. Sin embargo, no existe un procedimiento que permita evaluar las causas de los fallos de estos equipos y ofrezca soluciones para la reducción de su impacto negativo al medioambiente.

Por lo anterior, el objetivo de este artículo fue realizar un estudio integral basado en la teoría de la fiabilidad y técnicas de diseño para identificar las causas y efectos de los fallos en las calderas pirotubulares, del cual se derivan soluciones para la reducción de su frecuencia, consecuencias y riesgos asociados al medioambiente.

RESULTADOS

Estudio del impacto ambiental de las CBC en zonas de Santiago de Cuba

Las dos formas predominantes de contaminación asociadas a la explotación de la CBC están localizadas en la composición de los gases de escape y en el ruido durante la operación.

Los estudios de partida fueron desarrollados por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado durante el período 2005–2009. Estos estudios revelaron que la zona del reparto Fomento, donde se encuentran enclavados varios centros hospitalarios, se destaca por un incremento considerable de las emisiones contaminantes al aire que son propias de los residuos de combustión de las CBC (CNEA, 2005; CNEA, 2007-2009).

En la figura 1 se muestra la zona de influencia de los contaminantes con una tonalidad gris acentuada y señalados con círculos las ubicaciones de cada CBC.



Figura 1. Zona de influencia de las CBC en explotación en el reparto Fomento de Santiago de Cuba

En la figura 1 se muestran en forma ascendente las CBC correspondientes a: Fábrica de Helados Siboney, Hospital Provincial Saturnino Lora, Cardiocentro, Hospital Materno Norte y Hospital Infantil Norte. En la Tabla 1 se muestran los principales contaminantes medidos en la zona de influencia anteriormente señalada.

Tabla 1. Principales contaminantes (mg/m³) producidos por las CBC en el área de estudio (CNEA, 2007-2009; Tamajón, 2010)

CM: Concentraciones medidas CA: Concentraciones admisibles

Entidad	Contaminante	CM	CA
Hospital Infantil Norte (Altura de la chimenea: 10 m.)	Dióxido de Azufre (SO ₂)	1,41	0,5
	Monóxido de Carbono (CO)	0,261	5
	Hollín (C)	3,628	0,15
Hospital Materno Norte (Altura de la chimenea: 11 m.)	Dióxido de Azufre (SO ₂)	0,877	0,5
	Monóxido de Carbono (CO)	0,154	5
	Hollín (C)	0,753	0,15
Hospital Provincial Saturnino Lora (Altura de la chimenea: 25 m.)	Dióxido de Azufre (SO ₂)	0,215	0,5
	Monóxido de Carbono (CO)	0,032	5
	Hollín (C)	0,552	0,15

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los valores de hollín en la atmósfera están por encima de la medida admisible (NC: 93-02-202), en cuyo caso, desde el punto de vista teórico, se debe a la combustión incompleta del combustible; lo cual produce afectaciones sobre el sistema respiratorio de las personas expuestas y suciedad en las viviendas de los vecinos de la zona, prendas de vestir, etc. por la deposición de hollín sobre las superficies.

Por otro lado, el dióxido de azufre presente en los gases de la combustión, que también en dos casos de los tres observados supera el valor admisible, es proporcional al contenido de azufre en el combustible. Este es un gas irritante de las vías respiratorias y provoca tos en las personas expuestas.

De lo anterior se desprende que la cantidad de contaminantes gaseosos del aire depende de la calidad de la combustión y del combustible que se quema.

A partir de esto se hizo un análisis estructural de la CBC, consistente es fragmentar en partes funcionales toda la estructura de la caldera; de este fraccionamiento se obtuvieron seis partes diferenciables:

1. Sistema de alimentación de agua
2. Instrumentación y control
3. Sistema de combustión
4. Sistema de intercambio de calor
5. Sistema de aislamiento y hermeticidad
6. Sistema de distribución de vapor

En un período de tiempo de 18 meses se contaron en cada uno de estos seis sistemas los eventos de fallos presentados. Se determinó la contribución de cada sistema sobre el total de fallos de la CBC observados en el período. Se obtuvo el siguiente diagrama de Pareto.

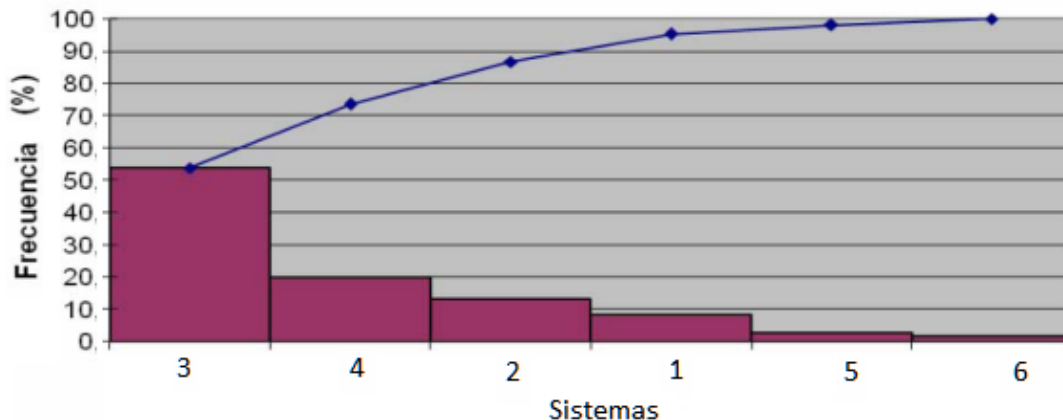


Figura 2: Diagrama de Pareto de la contribución de cada sistema sobre el total de fallos históricos de la CBC

Como se puede observar, más del 52 % de los fallos que ocurren en las CBC en estudio se atribuyen al sistema de combustión, lo que demuestra la relación entre

los modos de fallos de este sistema y las concentraciones de contaminantes gaseosos hallados en la zona.

El comportamiento de la incidencia recurrente de ciertos modos de fallos está vinculado a dos causas generales:

1. No existe correspondencia entre las condiciones de explotación y las declaradas por el diseñador de la CBC. Entre estas están los regímenes de operación y carga, los materiales que se utilizan y su preparación. Específicamente las propiedades físico-químicas del tipo de combustible que se utiliza tiene gran impacto sobre las emisiones de la combustión.
2. Malas prácticas de mantenimiento preventivo. Están marcadas por una frecuencia inadecuada en la ejecución de tareas de limpieza e inspección y la falta de corrección del plan de mantenimiento en la medida que envejece el equipo.

Tabla 2. Parámetros funcionales de los quemadores TEKENER S.A. utilizados en las calderas pirotubulares para la combustión del fuel oil

Característica	Rango de valores
Modelos	BT y OE
Combustible	Fuel oil
Viscosidad a 50°C (cSt)	350-390
Flujo combustible (máx/mín) (kg/h)	(60/91)/(130-195)
Potencia nominal (mín/máx) (kW)	(669-1015)/(1451-2175)
Voltaje (V)	220
Frecuencia (Hz)	60

Como se aprecia en la tabla 2, los quemadores de las calderas objeto de estudio se diseñaron para la combustión de fuel oil de una viscosidad aproximada, a 50°C, en el rango 350-390 cSt. Para el combustible que se estaba utilizando en el período de estudio (fuel oil No. 1 o fuel oil pesado) esta era de 450 cSt a esa

misma temperatura, por lo que evidentemente los parámetros de diseño no se corresponden completamente con los reales de operación.

Esta explotación de las CBC con un combustible más viscoso provoca problemas evidentes en la calidad de la pulverización, lo que trae gotas de combustibles de mayor tamaño y mayor dificultad en su combustión, debido a un proceso de oxidación más lento; finalmente, lo anterior impide la combustión completa con la correspondiente producción excesiva de hollín. Por otro lado, la transferencia de calor en el tubo central de la caldera, así como otros pasos, se dificultan por la deposición de este hollín; lo que provoca que la eficiencia del equipo caiga.

Un paliativo a esta situación sería un rediseño de los parámetros de entrada al quemador, temperatura y presión fundamentalmente, para garantizar una viscosidad adecuada, una buena pulverización y una combustión lo más eficiente posible; además, el combustible debe ser precalentado por encima de los 100 °C (aproximadamente hasta 120 °C) para alcanzar el valor permisible recomendado para estos tipos de quemadores utilizados en las calderas pirotubulares de baja presión, donde debe ser aproximadamente de 350 a 390 cSt.

El estudio realizado demuestra que muy pocas veces se cumple con lo establecido en cuanto a los parámetros de entrada (diseño) del combustible al quemador, lo que trae como consecuencia la combustión deficiente en estas calderas y la respectiva contaminación ambiental.

Estudio de los modos de fallos

El estudio de los modos de fallos está perfectamente descrito como parte integral de la teoría de la fiabilidad de las máquinas. Si bien es cierto que las aplicaciones prácticas de estos análisis de fallos imponen particularidades en su desarrollo, los rasgos generales de estos se mantienen inalterables.

Procedimiento para el estudio integral en las calderas pirotubulares

El procedimiento que se propone a continuación está concebido para las condiciones de explotación de las calderas pirotubulares que prestan servicio en el

sector de la salud pública de la ciudad de Santiago de Cuba. Se pueden distinguir las siguientes tareas:

1. Recopilar y depurar la información acerca del sistema estudiado:

- Información técnica del equipo (planos, normas de explotación, materiales de las partes, características técnicas, combustible, etc.).
- Datos históricos de fallos (por lo menos los eventos de fallos del último año de explotación, modos de fallos, frecuencia con que se presentan, consecuencias para el sistema y el entorno, etc.).
- Encuestas a operarios y especialistas de la entidad donde opera el equipo.
- Medidas de mantenimiento y operación que se realizan.

2. Análisis de riesgo (criticidad) de fallo a partir del diagrama estructural funcional. Se definirán los modos de fallos que resultan más riesgosos para el desempeño de las funciones del equipo.

3. Análisis de las causas raíces para cada modo de fallo crítico.

Debe recordarse que el análisis de los fallos de un equipo durante la explotación no puede reducirse solamente a los fenómenos incidentales en esa etapa, sino que es preciso considerar la calidad del diseño y la construcción.

- Diseño y construcción:
 - Correspondencia del diseño con las condiciones de explotación.
 - Control de las cargas de trabajo.
 - Verificación del estado de los materiales (ensayos no destructivos).
 - Análisis del modo de fallo con las diferentes metodologías y técnicas avanzadas del control del diseño.
- Mantenimiento y Operación:
 - Verificar el cumplimiento del plan de mantenimiento.
 - Retroalimentar o perfeccionar las estrategias de mantenimiento.

4. Documentar los resultados del análisis.

Medidas para disminuir las emisiones al medio

1. Reducir el coeficiente de exceso de aire, las infiltraciones de aire y la temperatura de los gases hasta los valores mínimos técnicamente posibles.
2. Cumplir estrictamente el programa de mantenimiento y operación de la caldera, haciendo énfasis en los parámetros de entrada –presión y temperatura fundamentalmente- del combustible empleado que no cumple todas las características para las que fue diseñado el quemador utilizado.
3. Aumentar la altura de las chimeneas de la caldera de vapor, para que permitan una adecuada dispersión de las emisiones en la atmósfera.
4. Recuperar todo el condensado posible.
5. Eliminar las fugas de vapor en los sistemas de generación, transporte y uso del mismo.
6. Reponer el aislamiento térmico en las distintas zonas de la caldera que así lo requieran y en las líneas de distribución de vapor.
7. Reparar o sustituir las trampas de vapor defectuosas.
8. Emplear magnetizadores para evitar y eliminar las incrustaciones producidas por la dureza del agua de alimentar, sin prescindir del tratamiento químico.

CONCLUSIONES

1. Se propone un procedimiento para el estudio integral de calderas pirotubulares de baja presión, basado en criterios de fiabilidad y métodos avanzados de control de diseño.
2. Los subsistemas más críticos y con mayores riesgos asociados son los de combustión e intercambio de calor, según el análisis realizado a partir de los datos históricos y la documentación técnica de los fallos potenciales y reales que ocurren en las calderas pirotubulares de baja presión en las condiciones de

explotación de los sistemas de servicio de la salud en la ciudad de Santiago de Cuba.

3. Se elaboraron, según las causas identificadas, medidas técnicas, organizativas, operacionales y de mantenimiento para estos equipos; lo cual mitigó el impacto ambiental de los mismos.

4. Se realizó un análisis de la contaminación ambiental producida por estos equipos, lo cual permitió determinar los principales contaminantes y el área afectada por las calderas de la muestra estudiada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado [CNEA]. (2007-2009). *Informes Técnicos. Grupo GADIC–CNEA* [no publicado].

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado [CNEA]. (2005). *Informe Proyecto Investigación de la Contaminación Ambiental en el Entorno de Calderas del Municipio Santiago de Cuba* [no publicado].

NC: 93-02-202 (1987). *Sistema de normas para la Protección del Medio Ambiente. Atmósfera, Requisitos higiénicos sanitarios. Concentraciones máximas admisibles. Alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria.*

Tamajón, C. H. (2010). *Procedimiento integral para la evaluación de la fiabilidad en calderas pirotubulares* (Tesis de Maestría). Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: septiembre de 2015

Aprobado: febrero de 2016