

MAINTENANCE PLAN APPLIED TO INSTRUMENTATION OF INDUSTRIAL HIGH PRESSURE BOILERS.

PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA INSTRUMENTACIÓN DE CALDERAS DE ALTA PRESION.

PhD. Rocco Tarantino Alvarado , MSc. Sandra Aranguren Zambrano

Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnología Aplicada

Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia.
roccot@unipamplona.edu.co, aranta2000@cantv.net

Abstract: This paper presents a methodology for determining a maintenance plan applied to monitoring, control and safety systems, used in industrial high pressure boilers.

Resumen: Este artículo presenta una metodología utilizada para el desarrollo de un plan de mantenimiento adecuado a las necesidades de los sistemas de medición, control y seguridad aplicado a las calderas de alta presión, de uso industrial.

Keywords: Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), Mantenimiento preventivo basado en condición (MPBC), Mantenimiento preventivo basado en tiempo (MPBT), Mantenimiento correctivo, Diagramas funcionales, Análisis de modos y efecto de falla.

1. INTRODUCCIÓN

Conforme se automatiza una empresa disminuye el personal dedicado a labores de mantenimiento, los cuales se convierten en operadores mantenedores.

Esto se debe a varios factores: uno de ellos es la cada vez más necesaria optimización del personal de mantenimiento y operaciones y a la tecnología existentes de sistemas inteligentes que son capaces de indicar cuando y donde hay una falla, estableciendo con el personal de mantenimiento una interacción Hombre-Maquina de alto nivel, similar a la que tiene un medico con su paciente, por ello, el personal de mantenimiento, serán cada día, especialistas altamente calificados que conocen las características técnicas de los sistemas y equipos.

Probablemente las técnicas de control y mantenimiento preventivo tenderán a ser poco eficientes; esto debido al aumento de la complejidad de las plantas, haciendo indispensable conceptos de Confiabilidad para que las paradas de producción imprevistas sean cosa del pasado.

La alta incidencia en fallas normalmente observadas en las calderas de alta presión de uso industrial, es un factor considerable dentro de las plantas de servicios (generación de vapor de alta presión) industriales, debido a la gran dependencia operacional que el resto de las plantas instaladas en los complejos, poseen en estas unidades, por lo cual de existir una baja disponibilidad en estos sistemas de generación de vapor, el efecto normalmente propagado en el resto

del complejo, implicaría paradas general de plantas, debido a que el vapor generado por estas unidades constituye un insumo de servicio de vital importancia para los procesos.

Otro de los aspectos comúnmente encontrados en estos tipos de sistemas de generación de vapor, basados en calderas de alta presión industrial, es la carencia de programas de mantenimiento preventivo efectivo aplicados a los equipos de instrumentación que garantice la continuidad operacional de los mismos, dejando la mayor parte del mantenimiento a acciones correctivas que inciden notablemente en la producción, lo cual es inamisible en el caso de equipos de alto impacto operacional como lo representan estas unidades.

2.- METODOLOGÍA

En esta sección se realiza una descripción de las etapas a seguir para lograr alcanzar los objetivos propuestos en el presente plan de mantenimiento, basándose principalmente en la metodología de MCC:

ETAPA I: Búsqueda de información

En esta etapa se hará una revisión exhaustiva del manual de operación, manual del fabricante y de mantenimiento, se realizarán entrevistas no estructuradas al personal involucrado en el proceso y se realizará levantamiento de información en campo. Se realizarán entrevistas no estructuradas a operadores, mantenedores y personal de ingeniería involucradas en el proceso.

ETAPA II: Construcción del diagrama funcional Entrada - Proceso - Salida.

En esta etapa se realizara el diagrama entrada proceso salida del sistema a través de:

- ◆ Definición del proceso por medio de la identificación de las funciones principales y secundarias, lo más específico posible.
- ◆ Establecer las entradas del proceso: primarias, secundarias, de servicio y de control; así como también las salidas del mismo.
- ◆ Definir los parámetros a los que están sujetas las funciones del sistema, tomando en consideración los valores del diseño.
- ◆ Este análisis funcional se realizara a todo el sistema, haciendo énfasis a las funciones de

control y seguridad, a los cuales se les realizará el análisis de modo y efecto de falla.

ETAPA III: Análisis de Modo y Efecto de Falla.

En esta fase se realizará una evaluación cualitativa y cuantitativa de los efectos que se generaran si falla alguna de las funciones de los instrumentos de control y de seguridad que integran a las unidades de generación de vapor. El resultado de esta etapa será un documento en donde se reflejará el impacto que causa al sistema la ocurrencia de dichas fallas. Utilizando como herramientas de análisis, el historial de fallas del sistema con el propósito de identificar de forma efectiva estos los modos de falla.

ETAPA IV: Elaboración del expediente (dossier)

En este documento se realizará la descripción detallada del sistema mediante la información obtenida en las tres etapas anteriores, así como también estará incluido dentro de este documento el impacto que tendrá la ocurrencia de la falla del sistema.

ETAPA V: Selección de tareas de mantenimiento

La selección de las tareas de mantenimiento se llevará a cabo a través de un algoritmo de selección de tareas del MCC. En esta etapa, se realizarán adicionalmente los cálculos de la fuerza hombre requerida para la ejecución del programa de mantenimiento propuesto, basado en la frecuencia arrojada por el cálculo del tiempo promedio para la falla (TPPF). Estos cálculos serán realizados mediante las siguientes ecuaciones:

$$HH \text{ requeridas} = \frac{H-H \text{ requeridas por año}}{\text{Horas disponibles por año}} \quad (1)$$

Donde,

- ◆ HH requeridas = Horas Hombres utilizadas por el plan de mantenimiento propuesto.
- ◆ Horas disponibles por año = Total de horas al año disponibles por persona.

$$\text{Horas disponibles al año} = 6 \text{ Hr/día} * 5 \text{ días/sem} * 44 \text{ sem/año} = 1320 \text{ Hr/año.}$$

$$TPPF = \frac{\text{Población} * \text{periodo}}{\# \text{ de fallas.}} \quad (2)$$

Donde,

- ◆ Población: numero de equipos de la misma familia (Válvula, transmisor de presión. etc.) los cuales forman parte de la muestra.

- ◆ Periodo: numero de meses empleados para el análisis estadístico.
- ◆ # De fallos observados: Representa el total de fallos observados a lo largo del periodo de estudio.

3.- IMPACTO ESPERADO

- ◆ Para garantizar el funcionamiento óptimo de las plantas e instalaciones industriales, las tareas de mantenimiento aplicadas a los sistemas y equipos instalados en ellas, deben estar enfocadas a obtener la máxima disponibilidad al mínimo costo posible, por lo cual una gestión de mantenimiento donde exista una alta incidencia de fallas, necesariamente producirá un incremento de los costos operativos, así como también la reducción de la confiabilidad y disponibilidad de la misma. Los estudios realizados en estos sistemas de generación de vapor, (calderas de alta presión) indican que requieren de un plan de mantenimiento preventivo efectivo que garantice la disponibilidad y confiabilidad de estas, por lo cual al realizar este estudio se deben obtener los siguientes resultados:
 - ◆ Optimización del uso del sistema.
 - ◆ Disponibilidad y confiabilidad en los sistemas de control y seguridad.
 - ◆ Realizar labores de mantenimiento preventivo basado en condición (MPBC), lo que permitirá determinar fallas incipientes de equipos y sistemas de alto impacto operacional, lo que permitirá tomar acciones preventivas de mantenimiento antes de que el sistema se vea afectado.
 - ◆ Disminuir la posibilidad de ocurrencia de unas paradas innecesarias del proceso, motivado por la activación de los dispositivos de protección de las unidades sin existir condiciones inseguras de operación.
 - ◆ Reducir al mínimo la ocurrencia de fallas imprevistas que afecten la continuidad y calidad del proceso.

4.- ANALISIS

Variables de entrada:

Data de fallas presentes en cada uno de los sistemas de estudio: Corresponde a la información

suministrada por el mantenedor y que servirá como base para la identificación de los modos de falla que la instrumentación asociada a las calderas han presentado y en donde se especifican el tiempo de falla, fecha de ocurrencia y tiempo de reparación.

Variables de salida:

Tiempo de ejecución de las tareas de mantenimiento: Representará el tiempo en que inicialmente se realizarán las tareas de mantenimiento, siendo reajustadas por el mantenedor de acuerdo a la evaluación realizada por el mismo al momento de ejecutar la tarea, cabe destacar que este parámetro es variable y dependerá del tipo de dispositivo y tarea de mantenimiento a ejecutar.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para lograr una mayor visualización de los resultados obtenidos a lo largo de cada una de las fases comenzaremos presentando a continuación un ejemplo de Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) realizados a la función: “Controlar el flujo de gas combustible a quemadores manteniendo una presión de 1.6-2.3 Barg, o de diseño” perteneciente al subsistema gas combustible de la caldera.

Continuando con la negación total de la función se tiene: “A: No controla flujo de gas combustible a quemadores manteniendo una presión de 1.6 – 2.3 Barg. o de diseño”

Teniendo como (algunos) modos de falla los siguientes:

1. Vencimiento del sello hermético de transmisor involucrado en la transmisión de la señal del sistema de medición.
2. Alto grado de humedad en el aire de instrumentos al regulador de aire del convertidor de la válvula de control de combustible, (gaseoso o líquido).
3. Falta de lubricación del vástago ó eje de la válvula la misma válvula de control de combustible.

Comenzando por el primer modo de falla, se registran bajo la columna “Efectos de falla” la información correspondiente a las interrogantes expuestas en el capítulo (3), donde se presenta la metodología de MCC. La falla “vencimiento del sello hermético del transmisor asociado a la transmisión de

la señal de flujo de combustible, produce el siguiente análisis:

- ◆ ¿Que causa que falle? : El vencimiento del sello hermético del transmisor.
- ◆ ¿Qué sucede cuando falla?_: Entrada de gases tóxicos ó humedad en los internos del transmisor producen sulfatación, causando severos daños en la tarjeta de amplificación del transmisor. El transmisor no envía señal al sistema de control.
- ◆ ¿Impacto de la falla? : Esta falla no posee impacto operacional, el proceso no se ve afectado.
- ◆ ¿Tiempo de reparación? : Aproximadamente 1 hora.

Para la selección de la tarea se realiza una evaluación de cada modo de falla, tomando en consideración el impacto generado al sistema clasificándose luego de acuerdo a la metodología de MCC y finalmente seleccionar la tarea mas adecuada a fin de evitar ese modo de falla; seleccionándose además la frecuencia ó intervalo de tiempo inicial para la ejecución de la misma. El periodo de tiempo para la ejecución de la tarea esta sujeta a las siguientes premisas:

- 1.- El intervalo P-F en caso de que pueda determinarse.
- 2.- El tiempo promedio para fallar (TPPF).
- 3.- La Edad o periodo de vida o vida útil del equipo.

A partir del uso del árbol de decisiones, se determina la tarea más efectiva para atacar el modo de falla y garantizar un programa de mantenimiento preventivo efectivo de acuerdo a la frecuencia de cada tarea de (los ejemplos seleccionados), resumiéndose de la siguiente forma:

1. La falla es evidente debido a que es detectable para el operador cuando ella actúa por sí sola.
2. No es de seguridad debido que la falla del transmisor no tiene ninguna repercusión en la seguridad de la planta.
3. Este modo de falla no tiene ninguna repercusión en el medio ambiente debido a que no se violan las normativas que la regulan.
4. No es del tipo operacional, ya que existe un transmisor de respaldo (únicamente en el caso de calderas de alta presión), el cual puede mantener la función operativa. Por lo cual el modo de falla estudiado es reconocido como una falla no operacional.
5. Existe una clara condición de fallo potencial al momento de presentarse esta falla, la cual es la pérdida de la dualidad en los transmisores de

flujo y mediante la detección de la pérdida de la señal del transmisor en el sistema de control. Debido a que la causa raíz de esta falla es el vencimiento del sello, se recomienda adicionalmente no abrir el transmisor en campo, para evitar la entrada de gases y humedad en los internos de este. Este debe ser llevado al taller de mantenimiento y revisar-retornar las condiciones del sello hermético.

6. Es posible que debido a la disponibilidad de un sistema computarizado el cual proporcione la posibilidad de monitorear la señal enviada por los transmisores de control y el de seguridad, donde cualquier desviación entre los transmisores active una alarma (discrepancia) que puede ser monitoreada por el supervisor de instrumentos/operaciones al momento de perder la señal, dando aviso inmediato al personal de mantenimiento, y manteniéndose temporalmente la función a controlar a partir del otro transmisor.

Realizando un resumen de las tareas de mantenimiento seleccionadas como optimas a las necesidades de este tipo de calderas de alta presión, se tiene:

1. Las fallas ocultas deben estar en su mayoría asociadas a elementos del sistema de seguridad, adicionalmente se debe clasificar como fallas ocultas las asociadas al sistema de combustible que menos se utilice (normalmente el combustible liquido), debido a que este es un respaldo del sistema de combustible gaseoso, y las fallas de este sistema se presentan al momento de realizar el cambio del tipo de combustible.
2. Dentro de las fallas que pueden afectar la seguridad de la caldera se encuentran: Falla en las válvulas de alivio, falla del solenoide de válvula de cierre de combustible por seguridad/emergencia.
3. Las fallas que afectan al medio ambiente, normalmente están relacionadas al mal funcionamiento de los analizadores de CO, CO₂, y al lazo de control asociado al control de estas variables.
4. La mayoría de las fallas operacionales se encuentran asociadas a las funciones de control y de seguridad, esto debido a los disparos falsos producidos por fallas en el sistema de seguridad de cada subsistema de la caldera (agua vapor, gas combustible, ignitores, aire de combustión y

aceite combustible).

5. En estas calderas de alta presión, debido a la dualidad, por diseño, del sistema de medición de las variables críticas, la presencia de fallas operacionales en las funciones de control, es compensada con el otro transmisor que es utilizado para el control. Esta situación puede generar fallas ocultas.

6.-TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTA

Una vez realizada la selección de tareas se obtiene la agrupación de las mismas por tipo de tarea, observándose tres tareas principales: Mantenimiento preventivo basado en tiempo, (MPBT) Mantenimiento preventivo Basado en Condición, (MPBC) y prueba de búsqueda de fallos (PF).

La mayoría de las fallas normalmente observadas en las válvulas asociadas al sistema de seguridad de estas calderas, se presentan al realizarse cambio de combustible bien sea de: gas a líquido ó de líquido a gas, debido a que las condiciones normales de operación de las mismas son mantenerse totalmente abiertas ó totalmente cerradas dependiendo del tipo de combustible que sea utilizado en el proceso. Por lo cual se recomienda la ejecución del cambio de combustible, periódicamente, estando este periodo calculado en base al TPPF registrado de estas válvulas. Para eliminar este tipo de falla y atacarla en su etapa incipiente se recomienda realizar lo siguiente:

1. Verificar recorrido de válvula (vástago, tapón)
2. Verificar el funcionamiento del solenoide asociado a cada válvula.
3. Verificar abertura y cierre del interruptor de posición.
4. Verificar línea de alimentación de aire de válvula.

Estas tareas deben realizarse en el periodo (P-F) mientras se realiza el cambio de tipo de combustible. En este periodo, los componentes antes nombrados normalmente pierden su función y se deben atacar a tiempo estas fallas ocultas.

La confiabilidad en el funcionamiento de las válvulas on-off de las calderas, dependerá de la ejecución de estas pruebas de función. De igual manera, para las válvulas de control se proponen las mismas tareas de

mantenimiento, cuya única diferencia con las válvulas de cierre hermético (On-Off) es a la ejecución de las siguientes tareas adicionales:

1. Realizar limpieza y verificación de componentes del posicionador.
2. Verificar línea de alimentación de aire de instrumentos de las válvulas

Normalmente Las válvulas de control del sistema de agua vapor del sistema de aire presentan pocas fallas, siendo estas fallas en su mayoría por fugas en las líneas de aire de instrumentos y fallas en el posicionador de las mismas, por lo cual se propone realizar una inspección a los componentes antes mencionados y la verificación de la existencia de condensado en los reguladores de aire de instrumentos de las válvulas de control.

Las válvulas sujetas a estas tareas de mantenimiento son:

- ◆ Válvula de : agua de alimentación a la caldera
- ◆ Válvula de: agua de atemperación
- ◆ Válvula de: aire de combustión
- ◆ Válvula de: purga continua
- ◆ Válvula de: aire a ignitores
- ◆ Válvula de: descarga a la atmósfera

Normalmente, es posible disponer de un sistema de monitoreo de las variables con el fin de detectar las fallas en los transmisores asociados a los lazos de mayor criticidad, en una etapa incipiente de la fallas, a fin de evitar el disparo operacional de la caldera por desviación de la señal aportada por estos instrumentos.

Los transmisores de protección son:

- ◆ Transmisores de: baja presión de gas a ignitores
- ◆ Transmisores de: baja presión de gas combustible
- ◆ Transmisores de: baja presión de aceite

Las Válvulas de control son:

- ◆ Válvula de: control de presión de combustible líquido.
- ◆ Válvula de: control de flujo de aire de combustión
- ◆ Válvula de: control de diferencial de presión de aire a ignitores.
- ◆ Válvula de: control de presión en el hogar de la caldera.

7.- CONCLUSIONES

1. A través de la aplicación de la metodología de MCC, se logra como resultado un programa de mantenimiento efectivo para el incremento de la Confiabilidad en sistemas de calderas de alta presión.
2. Con la aplicación de esta metodología, Se puede detectar una serie de fallas cuya ocurrencia es un fenómeno factible debido a las condiciones operacionales a las que están expuestos los sistemas de instrumentación de estas calderas. No obstante el estudio de MCC permite constatar que la mayoría de esas fallas requieren de atención y que se les debe asignar una tarea de mantenimiento que permita atacar la falla antes de que se presente, a fin de evitar la pérdida de la función principal. De la misma manera, la comparación y luego el análisis de los planes de mantenimiento normalmente existentes en estos equipos, determinan que las tareas normalmente presentes en los protocolos de mantenimiento de no cumplen con los requerimientos de confiabilidad de las calderas, a la vez que determina la oportunidad de incluir aquellas tareas que ayudaran a reforzar el protocolo de mantenimiento.
3. Los diagramas EPS y funcionales constituye una herramienta altamente efectiva para lograr la representación de cada una de los procesos y funciones que componen los sistemas en estudio, así como permiten representar en una forma esquemática cada una de las repercusiones ó efectos generados al sistema por causa de la falla de función de los elementos los elementos que integran estas unidades.
4. La documentación y definición de las especificaciones de cada uno de los sistemas estudiados permiten determinar las características de operación de cada uno de los mismos, siendo la base para el desarrollo de los Análisis de Modo y Efectos de Falla.
5. La aplicación del análisis de modo y efectos de falla permiten el análisis de cada una de las posibles causas de falla, para así generar tareas de mantenimiento apropiadas a cada modo de falla de acuerdo al nivel de impacto que este genere al proceso.
6. La aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad permite la generación de planes de mantenimiento adecuados a las necesidades de

mantenimiento de este tipo de calderas. El MCC enfoca las tareas de mantenimiento hacia aquellos dispositivos ó elementos operacionales de forma tal de asegurar la continuidad de las funciones realizadas por los elementos en estudio.

7. La metodología de MCC realiza un especial énfasis en aquellas fallas de función que repercuten en la seguridad y que infrinjan el medio ambiente, debido al alto nivel de impacto que estos generan y al proceso.
8. La utilización de la metodología de MCC permite la integración de las diferentes disciplinas que integran una determinada planta ó proceso, por lo cual cada una de las disciplinas se verán reflejadas en las tareas de mantenimiento que deberán ser aplicadas para garantizar la funcionalidad de las calderas.
9. Las tareas de mantenimiento deben estar enfocadas a la realización de acciones de mantenimiento que se enfoquen a la corrección de la causa raíz que origina la falla del equipo, por tanto la identificación de esta constituye, la clave principal para la elaboración de las tareas de mantenimiento a aplicarse a las unidades de generación de potencia.

REFERENCIAS

- MOBRAY, John. RCM II. Reliability-Centred Maintenance (2.1 segunda edición). Oxford. Butterworth-Heinemann (1997).
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. "PLUS". MCC para plantas complejas. Randburg. The Woodhouse Partnership, LTD. (1996).
- DISTRAL. Manual del fabricante de las Calderas de la Planta Renovación de Servicios Industriales. Maracaibo.
- AMAYA, ENNYS. GOITIA, ALFREDO. Instrumentación Industrial. Primera Edición. PCI Entrenamiento. Maracaibo Venezuela. 1997.
- Murray R. Spiegel. Estadística Serie SCHAUM, Segunda Edición
- Pouliezos, Stavrakakis. (1994). Real Time Fault Monitoring of Industrial Processes. Kluwer Academic Publishers

- Jhon S. Oakland. "Statistical Process Control" Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, 1986.
- Gertler Janos J. (1998). Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems. Marcel Dekker, Inc. Printed USA
- Chen, Patton. (1999). Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dinamic Systems. Kluwer Academic Publishers.
- Tarantino Rocco. (1999, Noviembre). Detección de Fallas en Sistemas Dinámicos Lineales Variante en el Tiempo. Tesis de Doctorado publicada. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida-Venezuela.
- Tarantino R., F. Szigeti, E. Colina. (2000, Julio) Generalized Luenberger Observer-Based Fault-Detection Filter Desig: An Industrial Application. Control Engineering Practice.
- Mo-Yuen Chow. (1997). Methodologies of Using Neural Network and fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection. World Scientific.
- R. Tarantino°, K. Cabezas*, F. Rivas *, E, Colina*.(2001, Abril) Failure Detection and Diagnostic System Based on a Hybrid Method. Conference Applications and Science of Computational Intelligence IV.SPIE.
- CIED (1998, April). Curso de Formación Reliability-Centred Maintenance. Strategic Technologies inc-Aladon Ltd.
- Carrera, Oquendo y Tarantino (2001,) Metodología para Evaluar Confiabilidad en Instrumentación - Informe Técnico.
- Aranguren, Sandra. (2001), Estudio y Diseño de las Normas, Ingeniería, Metodologías y Tecnologías de los Sistemas de Detección y Diagnostico de Fallas (SDDF), para los Elementos de los Sistemas de Automatización del Centro de Refinación Paraguaná (CRP), PDVSA. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Mérida-Venezuela.