

*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA*

*UNAN-MANAGUA*

*RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO*

*FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS*

*DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA*



*SEMINARIO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS*

*TITULO:*

*Propuesta de una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares en las empresas Nicaragüenses en un periodo de Abril a Junio del 2014.*

*AUTORES:*

*Br. Carla Margarita Solís Guido.*

*Br. Bismarck Antonio Ochoa Pérez.*

*TUTOR:*

*Ing. Edwin Fariña.*

*ASESOR METODOLOGICO:*

*Ing. Sergio Ramírez.*

*Managua, Agosto 2014.*



## Índice

<i>Dedicatoria</i> .....	5
<i>Agradecimiento</i> .....	6
<i>Dedicatoria</i> .....	7
<i>Agradecimiento</i> .....	8
RESUMEN .....	9
I. INTRODUCCIÓN:.....	10
II. ANTECEDENTES .....	11
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	12
IV. JUSTIFICACIÓN: .....	13
V. OBJETIVOS:.....	14
A. Objetivo General: .....	14
B. Objetivos Específicos:.....	14
VI. MARCO REFERENCIAL.....	15
A. MARCO TEORICO.....	15
B. MARCO CONCEPTUAL .....	20
C. MARCO ESPACIAL.....	22
D. MARCO TEMPORAL.....	23
VII. PREGUNTAS DIRECTRICES .....	24
VIII. DISEÑO METODOLÓGICO:.....	25
A. Tipo de enfoque: .....	25
B. Tipo de Investigación: .....	25
C. Universo de Estudio: .....	25
D. Tipo de Muestra:.....	25
E. Técnicas de recopilación de datos .....	25
F. Matriz de descriptores .....	27
IX. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28



---

A.	DEFINICIÓN DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES, SU CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO.....	28
B.	TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS UTILIZADAS EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	47
C.	PRINCIPALES FALLAS QUE PUEDEN PRESENTAR LAS CALDERAS.....	64
D.	GUÍA PARA EL DIAGNOSTICO DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES. ..	74
X.	CONCLUSIÓN.....	96
XI.	RECOMENDACIONES.....	98
XII.	BIBLIOGRAFIA.....	99
XIII.	ANEXOS.....	100



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1: COMBUSTIBLES MÁS USADOS EN LAS CALDERAS.</b> .....	17
<b>ILUSTRACIÓN 2: MAPA ESPACIAL.</b> .....	22
<b>ILUSTRACIÓN 3: DIAGRAMA DE GANTT.</b> .....	23
<b>ILUSTRACIÓN 4: PRESENTACIÓN GRAFICA DE CALDERAS HORIZONTALES.</b> .....	29
<b>ILUSTRACIÓN 5: PRESENTACIÓN GRAFICA DE CALDERAS VERTICALES</b> .....	29
<b>ILUSTRACIÓN 6: PRESENTACIÓN GRAFICA DE CALDERAS DE DOS PASOS DE GASES.</b> .....	30
<b>ILUSTRACIÓN 7: PRESENTACIÓN GRAFICA DE CALDERAS DE TRES PASOS DE GASES.</b> .....	30
<b>ILUSTRACIÓN 8: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LAS PARTES DE UNA CALDERA.</b> .....	31
<b>ILUSTRACIÓN 9: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LA PUERTA DEL HOGAR.</b> .....	32
<b>ILUSTRACIÓN 10: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LA PARRILLA.</b> .....	32
<b>ILUSTRACIÓN 11: PRESENTACIÓN GRAFICA DEL CENICERO.</b> .....	34
<b>ILUSTRACIÓN 12: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LOS CONDUCTOS DE HUMO.</b> .....	35
<b>ILUSTRACIÓN 13: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LA CHIMENEA.</b> .....	36
<b>ILUSTRACIÓN 14: PRESENTACIÓN GRAFICA DE LAS PARTES DE UNA CALDERA.</b> .....	42
<b>ILUSTRACIÓN 15: PASOS A SEGUIR EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.</b> .....	49
<b>ILUSTRACIÓN 16: CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN MARCHA.</b> .....	82
<b>ILUSTRACIÓN 17: EJEMPLO DE LA INSPECCIÓN</b> .....	87
<b>ILUSTRACIÓN 18: CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN PARADA.</b> .....	88
<b>ILUSTRACIÓN 19: EJEMPLO DE INSPECCIÓN</b> .....	94



## Índice de tablas

<b>TABLA 1: PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES.</b> .....	23
<b>TABLA 2: <i>MATRIZ DE DESCRIPTORES.</i></b> .....	27
<b>TABLA 3: PROBLEMAS CAUSADOS POR DISTINTAS IMPUREZAS.</b> .....	72
<b>TABLA 4: ACCIÓN DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS INORGÁNICOS EN EL AGUA.</b> .....	73
<b>TABLA 5: VELOCIDADES MÁS COMUNES EN EL MEDIDOR DE ESPESOR</b> .....	80
<b>TABLA 6: VALORES DE RANGOS DE DUREZA</b> .....	80
<b>TABLA 7: MODELO DE FICHA</b> .....	95



### *Dedicatoria*

*Le dedico este trabajo a Dios por guiarme a lo largo de toda la carrera.*

*A mis padres Juan Carlos Solís y Margarita Guido por su apoyo, consejos, amor, comprensión y por darme los recursos necesarios para estudiar.*

*A mi familia y amigas que han estado conmigo en todo momento.*

*Carla Margarita Solís Guido.*



## *Agradecimiento*

*Agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado, por la vida que me ha regalado, por acompañarme en todo momento y por permitirme cumplir una meta más en mi vida.*

*Con amor agradezco a mis padres Juan Carlos Solís González y Margarita Guido Rivera que me han dado una carrera para mi futuro, por el esfuerzo y paciencia que me han tenido, por enseñarme valores morales que son importantes para ser una buena persona y profesional. A toda mi familia que también me han apoyado.*

*A mi compañero de Seminario Bismarck Antonio Ochoa Pérez con quien he compartido toda la carrera y me ha brindado su apoyo y cariño.*

*A mis amigas y compañeras que a lo largo de este camino nos ayudamos unas a otras: María Luisa Santana, Gigssi Morales, Izamara Morales.*

*A nuestro tutor Ing. Edwin Fariña, a nuestro asesor metodológico Sergio Ramírez por su dirección y asesoría en esta investigación. A mis maestros: David Cárdenas, Norma Flores, Elvira Síles, Julio López y Héctor González, que a lo largo de mi carrera, me han transmitido sus amplios conocimientos y sus sabios consejos.*

*A todos los que de una u otra forma han colaborado con nosotros en esta investigación.*

*Carla Margarita Solís Guido.*



### *Dedicatoria*

*A Dios por la vida y bendiciones que me ha dado y por permitirme cumplir esta nueva meta en mi vida.*

*A mi mama Julia Pérez y mi hermana María José Ochoa por brindarme la ayuda económica para culminar mi carrera.*

*Al resto de mis hermanos y amigos que de una u otra manera me han apoyado*

*Bismarck Antonio Ochoa Pérez.*



## *Agradecimiento*

*A Dios por haberme acompañado a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por permitirme cumplir esta meta tan anhelada.*

*Agradezco en especial a mi mamá Julia Pérez y mi hermana María José Ochoa Pérez porque me ayudaron a que terminara mi carrera para tener un buen futuro, a mis demás hermanos Karina, José David, Luis y Juan Manuel porque han sido parte importante en este largo camino, pues me brindaron además de ayuda buenos consejos.*

*A mi compañera de Seminario Carla Margarita Solís Guido con quien he compartido toda la carrera y me ha brindado su apoyo y cariño.*

*A mis compañeras María Luisa Santana, Gigssi Morales, Izamara Morales, con quienes durante toda la carrera compartimos muchos momentos en equipo.*

*A nuestro tutor Ing. Edwin Fariña, por su dirección en nuestra investigación a nuestro asesor metodológico Sergio Ramírez que nos asesoró y aconsejó. A los profesores: David Cárdenas, Norma Flores, Elvira Síles, Julio López y Héctor González que me transmitieron sus conocimientos a lo largo de mi carrera.*

*A todos los que de una u otra manera colaboraron con nosotros en nuestro trabajo investigativo.*

*Bismarck Antonio Ochoa Pérez.*



## **RESUMEN**

El presente trabajo investigativo consiste en proponer una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares en las empresas Nicaragüenses, con el fin de brindar una herramienta básica que brinde los pasos a seguir para realizar un buen diagnóstico de dichas maquinas.

Dentro de la problemática, el país no cuenta con una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares, lo cual permite que se presenten fallas que provoquen paros repentinos y disminuya la calidad del producto, etc.

El estudio posee un enfoque cualitativo, siendo el tipo de investigación descriptivo y de corte transversal porque se elaboró en un periodo comprendido de abril a junio del 2014. La metodología que se utilizó para realizar la investigación fue documental, mediante la recopilación de información en libros, folletos, entre otros, para conformar el marco teórico relacionado al tema.

En el análisis y resultados: en el inciso A. se describen conceptos, clasificación, funcionamiento y partes de las calderas pirotubulares esto para lograr un mejor entendimiento a la hora de ver la guía.

En el inciso B. podrá encontrar las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo el cual nos da la base para la elaboración de la guía.

El inciso C. presenta las posibles fallas que pueden presentar las calderas pirotubulares.

Y por último en el inciso D. encuentran la propuesta de una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares.

La guía podrá ser usada por las empresas que posean dentro de sus maquinarias calderas pirotubulares.



## **I. INTRODUCCIÓN:**

Como parte del tema de investigación, se pretende desarrollar el contenido de las calderas pirotubulares, su concepto, características y fallas que estas pueden presentar como aspecto esencial en el ámbito tecnológico empresarial. Para esto es necesario conocer que las calderas son máquinas térmicas, usadas en diferentes tipos de industrias como: los ingenios azucareros, industrias lácteas, industrias cementeras, entre otras.

En materia de mantenimiento industrial, es necesario tomar en cuenta que para sostener la buena operación de una máquina térmica, no solamente el buen uso, garantiza la longevidad de dicha máquina, sino también la aplicación de un mantenimiento adecuado, que esté en correspondencia con las características tecnológicas, operativas y económicas.

Así también es importante la determinación de las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo, las cuales hacen posible pronosticar el punto futuro de falla de un componente, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base a un plan, justo antes de que falle, aplicando un monitoreo continuo con ayuda de instrumentos como medidores de espesor, boroscopios, durómetros, entre otros.

El presente estudio propone la elaboración de una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares, como su nombre lo indica contiene paso a paso las técnicas que los operarios deberán cumplir para predecir las fallas que se puedan presentar, evitando así que los costos de mantenimiento sean elevados, además que el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida se maximiza.



## **II. ANTECEDENTES**

Referente a estudios relacionados al tema, se conoce que en el año 2013, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la UNAN-Managua, desarrollaron un trabajo investigativo con el tema “Plan de mantenimiento preventivo para calderas industriales”, el cual describe las calderas, sus componentes y propone el ciclo de mantenimiento.

Toda máquina térmica desde su fabricación, instalación, puesta en marcha y operación, trae consigo manuales como el de instalación, de mantenimiento y de operación, pero con enfoque específicos a las características particulares de cada caldera, según su tipo y capacidad

No se conoce de la existencia de guías que se enfoquen en las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo. Por lo tanto esta es la primera guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares con el enfoque anteriormente mencionado.



### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

Las empresas en el país no cuentan con una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares, que plantee los pasos a seguir en la inspección de las mismas y que permita predecir las fallas.

Las calderas pueden presentar diferentes tipos de fallas las que con mayor frecuencia se presentan son: erosión, corrosión, agrietamiento, entre otros. Lo que podría provocar paros repentinos, disminuye la calidad del producto, baja la productividad, incrementa el tiempo muerto, así como afecta económicamente a la empresa, a través de la pérdida de mano de obra, materia prima, etc.

Otro aspecto relevante, es el proceso tecnológico que requieren estas máquinas para su debida reparación, al no contar con los materiales adecuados y la mano de obra calificada, se incurren en atrasos de operación de dicha máquina y por ende las actividades productivas que están relacionadas a ella se ven afectadas también.



#### **IV. JUSTIFICACIÓN:**

La elaboración de esta propuesta de una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares, basado en las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo, servirá de ayuda en la ejecución de los pasos a seguir para la inspección técnica, es decir en el monitoreo continuo de las calderas pirotubulares que se encuentran en diferentes sectores industriales (producción y servicios).

Dicha guía permitirá reducir los costos de mantenimiento y por ende de producción, pues no se producirán pérdidas de producción por paros imprevistos en los equipos, permitiendo planificar de tal manera que coincidan con paros de mantenimiento programados de la planta, y darle solución al problema antes de que sea más grave, además garantizará la vida útil de las calderas.

El presente documento investigativo, beneficiará a las empresas Nicaragüenses que cuenten con calderas pirotubulares, desde el punto de vista de la supervisión y aplicación de técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo.



## **V. OBJETIVOS:**

### **A. Objetivo General:**

- ✓ Proponer una guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares.

### **B. Objetivos Específicos:**

- ✓ Definir que son las calderas pirotubulares, su clasificación, características y funcionamiento.
- ✓ Describir las técnicas no destructivas utilizadas en el mantenimiento predictivo.
- ✓ Identificar las principales fallas que pueden presentar las calderas.
- ✓ Elaborar una guía de procedimiento para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares.



## **VI. MARCO REFERENCIAL**

### **A. MARCO TEORICO**

La caldera industrial es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Es un aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de energía térmica, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.(Barreto, 2005)

Las calderas son un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en las cuales se produce un cambio de fase.

En esencia una caldera es un recipiente cerrado, lleno parcialmente de agua a la que se le aplica calor procedente de alguna fuente, tal como combustible, electricidad, etc., para hacerla hervir y producir vapor. Como estos vapores están confinados aun espacio cerrado, se incrementara la presión interior y con ello la temperatura de ebullición del agua, pudiéndose alcanzar finalmente muy elevados valores de presión y temperatura.

Estos vapores se concentran en la parte superior del recipiente vacío, conocido como domo de donde se extrae vía conductos para ser utilizado en el proceso en cuestión.

Aunque el principio de trabajo es muy simple, las particularidades del proceso son complejas para un trabajo seguro y eficiente de la caldera, especialmente en las grandes instalaciones industriales.



Las calderas industriales se pueden clasificar en dos grupos principales:

**Calderas Acuotubulares:** En estas calderas, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera.

**Calderas Pirotubulares:** Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

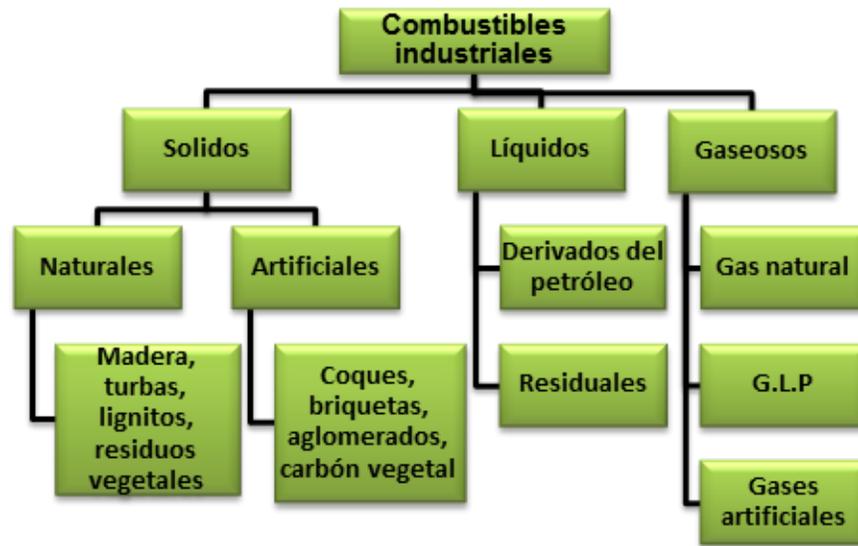
Elementos de funcionamiento de una caldera(Calderas, 2002)

Fuego

El proceso de combustión es de gran importancia en la operación de las calderas, debe ser lo más óptimo posible en cuanto a su consumo y además amigable con el medio ambiente.

Para que se dé el proceso de combustión es necesario que exista un combustible, un comburente (aire) y un agente externo que produzca la ignición (chispa), cuando esto ocurre se da una reacción química del combustible con el oxígeno, para producir gases de combustión y liberar energía en forma de trabajo y calor, la cual es aprovechada en las calderas para evaporar el agua.

A continuación se muestran los diferentes tipos de combustibles; algunos de ellos utilizados para la combustión en calderas.



*Ilustración 1: Combustibles más usados en las calderas.*

## Agua

El agua obtenida de ríos, pozos y lagos es denominada agua bruta y no debe utilizarse directamente en una caldera.

El agua para calderas debe ser tratada químicamente mediante procesos de ablandamiento, o desmineralización total, adicionalmente, según la presión manejada por la caldera, es necesario controlar los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, dureza, alcalinidad, sílice, material orgánico, gases disueltos (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>), de no llevarse a cabo este tipo de tratamiento, la caldera sufrirá problemas de incrustaciones, sedimentación, desgaste por material particulado, etc.

## Superficie de intercambio de calor

La tubería por la que circulan los gases en las calderas pirotubulares o el agua en las acuotubulares es fundamental para una eficiente transferencia de calor. De la buena combustión y tratamiento de agua, así como de las características físicas



del material de intercambio de calor depende que el flujo de energía de los gases de combustión hacia el agua sea lo más eficiente posible.

Como es evidente, debido a la incapacidad para que los equipos e instalaciones se mantengan en buen funcionamiento por sí mismos, debe organizarse un grupo de personas para que se encargue de esto y se constituya así una "organización de mantenimiento". (Botero, 1991)

El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados. (Botero, 1991)

La filosofía del mantenimiento de una planta es básicamente la de tener un nivel mínimo del personal de mantenimiento que sea consistente en la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que comprometa la seguridad. (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2007)

Dicha filosofía plantea los siguientes conceptos: (Duffuaa, Raouf, & Dixon, 2007)

**Mantenimiento correctivo:** Este mantenimiento solo se realiza cuando el equipo sea incapaz de seguir operando. No hay elementos de planeación e este mantenimiento.

**Mantenimiento preventivo:** Es cualquier mantenimiento planeado que se lleva a cabo para ser frente a fallas potenciales.

**Detección de fallas:** La detección de fallas es un acto o inspección que se lleva a cabo para evaluar el nivel de presencia inicial de la fallas.

El Mantenimiento predictivo, consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos mediante equipos sofisticados a partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les pueda permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o causan daños.



La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción. (Botero, 1991)

Una falla es el defecto de material que se puede encontrar en un objeto.

Las calderas están sujetas a la manifestación de variados mecanismos que conducen a la falla. Los más prominentes son: corrosión (incluyendo picadura y erosión), procesos mecánico (incluyendo agrietamiento por corrosión bajo tensión y daño por hidrógeno), la fractura (incluyendo fractura por fatiga, fatiga térmica, ruptura por tensión) y la distorsión (especialmente la distorsión envolviendo efectos de expansión térmica). (Tanner, 2001)



## **B. MARCO CONCEPTUAL**

**Caldera:** Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan o calientan el agua para aplicaciones industriales.

**Calderas acuotubulares:** En estas calderas, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín o calderines que constituye la superficie de intercambio de calor de la caldera.

**Caldera Pirotubular:** Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

**Mantenimiento:** Todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

**Mantenimiento predictivo:** Es una serie de acciones que se realizan y las técnicas que se aplican para detectar fallos y defectos de la maquinaria en sus etapas incipientes, con la finalidad de conseguir evitar que dichos fallos se manifiesten.

**Mantenimiento preventivo:** Es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad.

**Mantenimiento Correctivo:** Es aquel mantenimiento que se realiza con el fin de corregir o reparar un fallo en el equipo o instalación en el momento que ocurre.

**Ensayo no destructivo:** Es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.



Instrumentos: Objeto que sirve para realizar un trabajo manual o técnico específico. Aparatos que sirven para medir o controlar.

Fallas: Defecto de una cosa material o bien es la deficiencia en el funcionamiento de algo.

Hollín: Es una partícula sólida de tamaño muy pequeño, en su mayoría compuesta de carbono impuro, pulverizado, negrozco, resultantes de la combustión incompleta de un material.

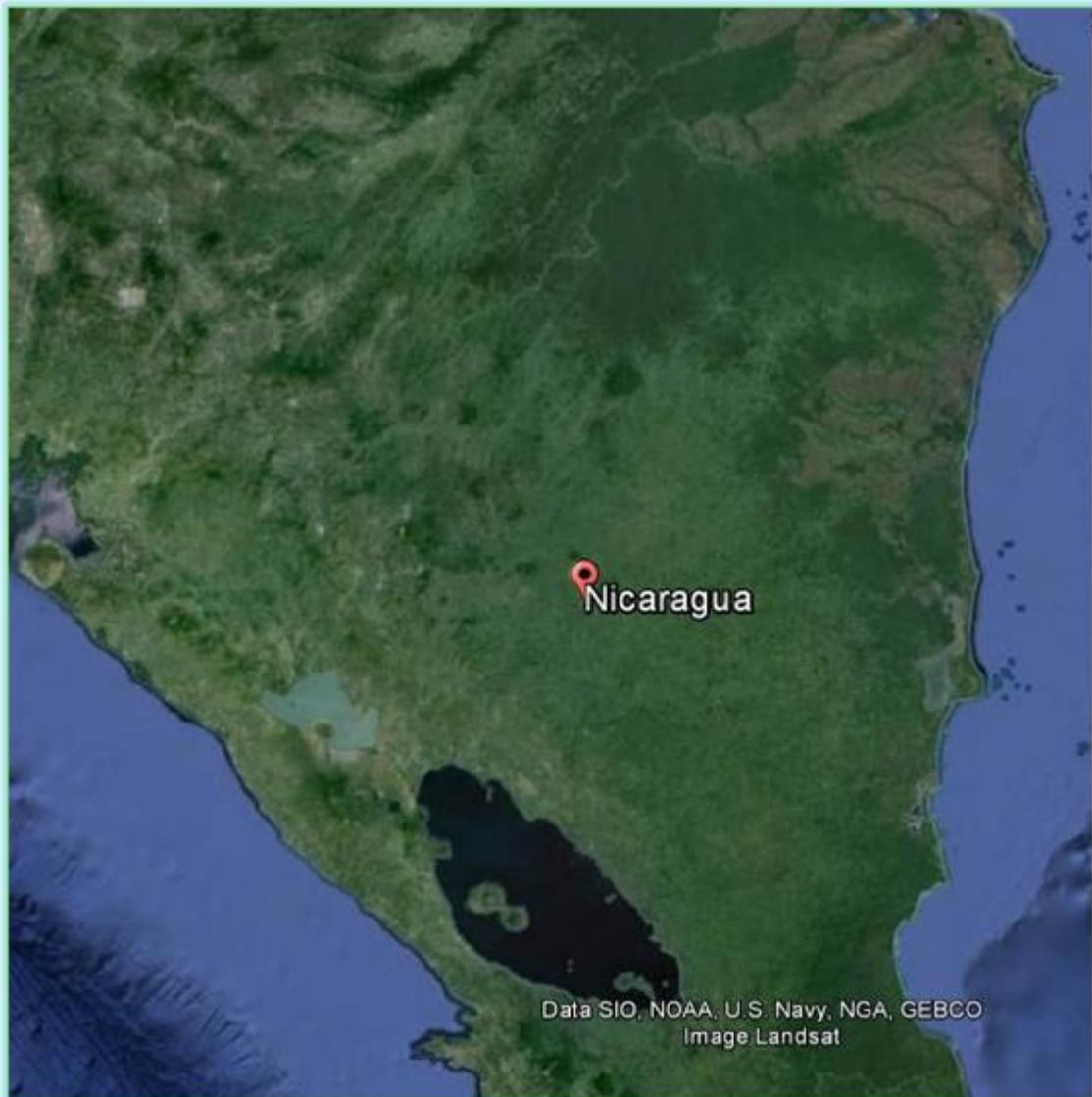
Diagnóstico: Es el análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando.

Guía de procedimientos: Es el documento que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa, o de más de ellas.



### **C. MARCO ESPACIAL**

Esta guía de procedimientos para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirotubulares, está dirigido a las industrias que posean este tipo de calderas en Nicaragua.



***Ilustración 2: Mapa espacial.***



## D. MARCO TEMPORAL

Tabla 1: Planificación de actividades.

Diagrama de Gantt			
Tareas	Fecha inicial	Duración (días)	Fecha a terminar
Selección de documentos	26/03/2014	2	28/03/2014
Determinar la problemática	02/04/2014	3	05/04/2014
Definir la justificación	07/04/2014	3	10/04/2014
Determinar los objetivos	21/04/2014	5	26/04/2014
Investigación documental	28/04/2014	2	30/04/2014
Plantear el marco referencial	05/05/2014	5	10/05/2014
Recolección de información	12/05/2014	1	13/05/2014
Elección de la metodología	13/05/2014	4	17/05/2014
Analisis y discusión de resultados	19/05/2014	17	05/06/2014
Conclusiones y Recomendaciones	06/06/2014	2	08/06/2014
Entrega del trabajo a tutor	11/06/2014	1	12/06/2014

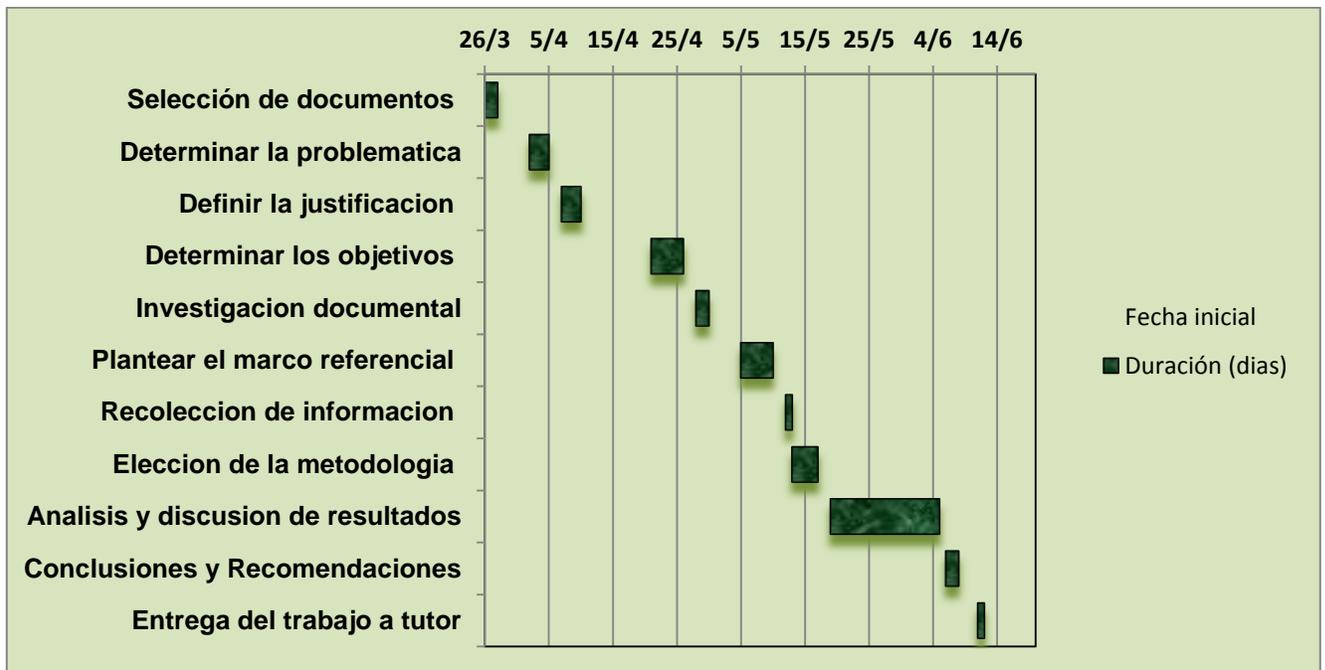


Ilustración 3: Diagrama de Gantt.



## **VII. PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Cómo se definen las calderas pirotubulares, su clasificación, características y funcionamiento?

¿Cuáles son las técnicas no destructivas utilizadas en el mantenimiento predictivo?

¿Cuáles son las principales fallas que pueden presentar las calderas?

¿De qué manera se beneficiarán las empresas que pongan en práctica esta guía de procedimiento para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares?



## **VIII. DISEÑO METODOLÓGICO:**

### **A. Tipo de enfoque:**

La investigación es basada en un estudio cualitativo, este implica la recolección y análisis de la información (definiciones, descripción y fallas encontradas en las calderas).

### **B. Tipo de Investigación:**

Según su profundidad es de tipo descriptiva, con este tipo de investigación describimos los componentes y fallas de las calderas pirotubulares. Analizamos las posibles fallas para proponer los ensayos no destructivos.

Según su alcance temporal es una investigación de corte transversal, porque el estudio se realizó en periodo comprendido de abril a junio del 2014.

### **C. Universo de Estudio:**

El estudio se limita al área de interés que son las calderas pirotubulares que formen parte de cualquier empresa en Nicaragua.

### **D. Tipo de Muestra:**

Es intencional, puesto que el estudio fue previamente segmentado para el área de interés y por conveniencia, empresas en Nicaragua que posean calderas pirotubulares.

### **E. Técnicas de recopilación de datos**

Realizamos recolección de información mediante:

**Investigación documental:** Se refiere a la selección y el análisis exhaustivo de los documentos que se relacionan con calderas pirotubulares y al mantenimiento industrial. Entre estos están: libros, folletos y toda aquella información que sea de relevancia al estudio. Fue realizada mediante visitas a la biblioteca.



**Entrevistas no estructurada:** Es decir interrogantes que surgieron en el transcurso de la investigación que fueron hechas a especialistas en calderas y especialistas en el mantenimiento industrial con el fin de conocer a profundidad los temas.

**Diagrama de Gantt:** El propósito de realización del cronograma de actividades es poder valorar la duración de elaboración del trabajo.

**Diagrama de causa y efecto:** El propósito es identificar las fallas graves que se puede presentar, las que podrían producir consecuencias desastrosas.



## F. Matriz de descriptores

Tabla 2: Matriz de descriptores.

OBJETIVOS ESPECIFICOS	DESCRIPTORES	PREGUNTA ORIENTADAS	FUENTE	TÉCNICA
Definir que son las calderas pirotubulares, su clasificación, características y funcionamiento.	-Características -Funcionamiento -Clasificación	¿Qué son calderas pirotubulares? ¿Cómo se clasifican? ¿Cuáles son sus características? ¿Cómo funcionan las calderas pirotubulares?	- Bibliografías - Especialistas en calderas	-Entrevista -Documentación
Describir las técnicas no destructivas utilizadas en el mantenimiento predictivo.	- Causas - Efectos	¿Qué es mantenimiento predictivo? ¿Cuáles son las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo?	- Especialistas en calderas - Bibliografías	- Entrevista - Documentación
Identificar las principales fallas que pueden presentar las calderas	-Ensayos No destructivos -Aparatos de monitoreo	¿Qué tipo de fallas pueden presentar las calderas? ¿Cuáles son las posibles causas?	- Bibliografías - Especialistas en mantenimiento	-Entrevista -Documentación
Elaborar una guía de procedimiento para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares.	-Bueno -Regular -Malo	¿Qué tipo de instrumentos se usan? ¿Cuáles son las técnicas a usar?	-Bibliografías - Especialistas en mantenimiento -Especialistas en calderas	- Análisis de resultados



## IX. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### A. DEFINICIÓN DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES, SU CLASIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO.

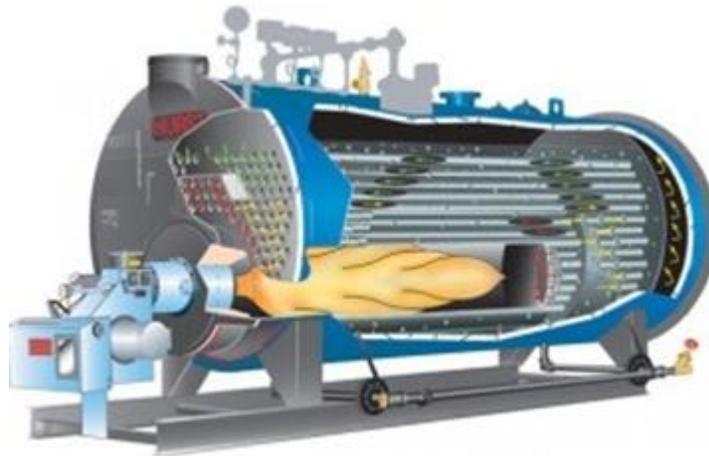
#### Definición

Generadores de vapor o calderas son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Las calderas pueden estar clasificada según diversos criterios, relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales, modo de intercambio de calor, la forma del quemado del combustible, forma de alimentación del agua y otros muchos factores. Las más comunes son las calderas acuotubulares y calderas pirotubulares (Esta última es en la que profundizaremos).

**Calderas Pirotubulares:** Son calderas en la que por el interior de los tubos circula gases calientes procedentes de la combustión, y por el exterior esta bañado por el agua de la caldera.

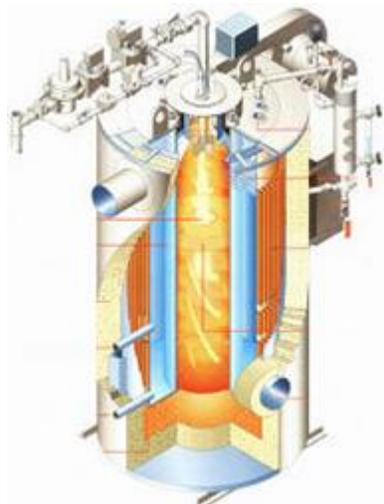
A su vez las calderas pirotubulares se clasifican en función de la disposición del haz tubular, las más comunes son:

- 1) Calderas Horizontales: El haz tubular está dispuesto de la parte delantera a la trasera de la caldera.



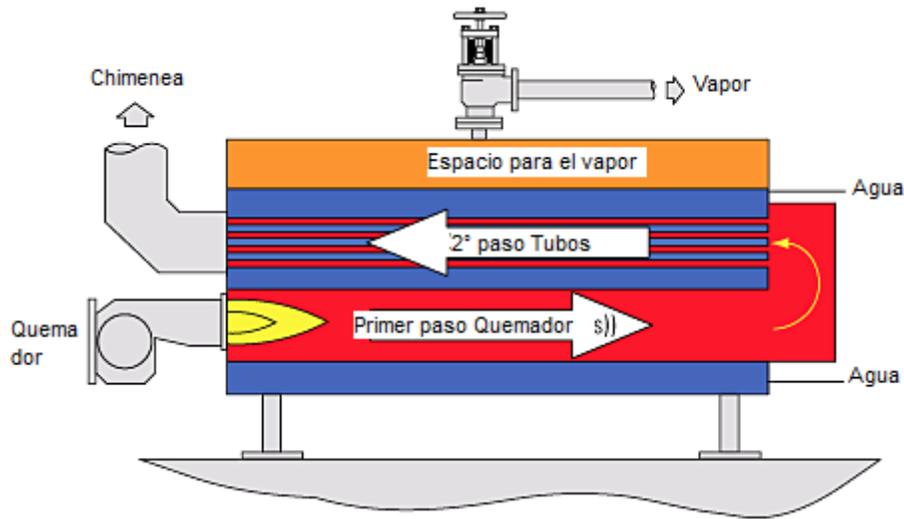
***Ilustración 4: Presentación grafica de calderas horizontales.***

- 2) Calderas Verticales: El haz tubular está dispuesto de la parte inferior a la parte superior de la caldera.



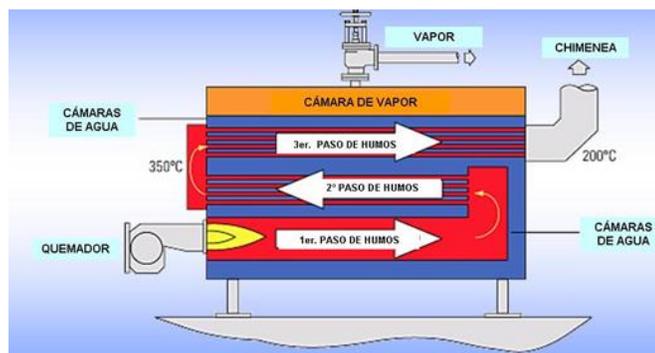
***Ilustración 5: Presentación grafica de calderas verticales***

- 3) Calderas de dos pasos de gases: El diseño de dos pasos de humos se distinguen claramente dos vías de paso autónomas de circulación de los productos de combustión.



**Ilustración 6: Presentación grafica de calderas de dos pasos de gases.**

- 4) Caldera de tres pasos de gases: Los gases producidos de combustión por el quemador en la parte posterior de la cámara de combustión (hogar) fluye a través de los tubos en el segundo paso de humos. Seguidamente, los gases de combustión de la caldera, pasando a través de los tubos de humos en el tercer paso, hacia el conducto de expulsión de gases porque se evacuan al exterior.



**Ilustración 7: Presentación grafica de calderas de tres pasos de gases.**



## Principales partes de una caldera



*Ilustración 8: Presentación grafica de las partes de una caldera*

**Hogar o fogón:** Es el espacio donde se quema el combustible. Se le conoce también con el nombre de "Cámara de Combustión". Los hogares se pueden clasificar en:

### a) Según su ubicación

- Hogar exterior.
- Hogar interior.

### b) Según tipo de combustible.

- Hogar para combustible sólido.
- Hogar para combustible líquido.
- Hogar para combustible gaseoso.

### c) Según su construcción.

- Hogar liso.
- Hogar corrugado.

Esta clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo compone uno o más tubos, a los cuales se les da el nombre de "TUBO HOGAR".



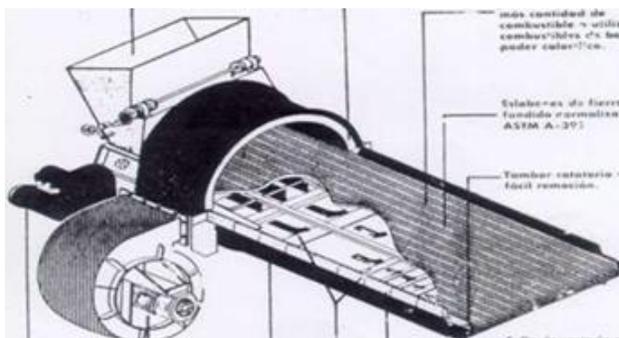
**Puerta del hogar:** Es una pieza metálica, abisagrada, revestida generalmente en su interior con refractario o de doble pared, por donde se echa el combustible al hogar y se hacen las operaciones de control del fuego.



**Ilustración 9:** Presentación grafica de la puerta del hogar.

En calderas que queman combustibles líquidos o gaseosos, esta puerta es reemplazada por el quemador.

**Parrillas(o emparrillado):** Son piezas metálicas en forma de rejas, generalmente rectangulares o trapezoidales, que van en el interior del fogón y que sirven de soporte al combustible sólido. Debido a la forma de reja que tienen, permiten el paso del "aire primario" que sirve para que se produzca la combustión.



**Ilustración 10:** Presentación grafica de la parrilla.



a) Las parrillas deben adaptarse al combustible y deben cumplir principalmente los siguientes requisitos:

- Deben permitir convenientemente el paso del aire
- Deben permitir que caiga la ceniza
- Deben permitir que se limpien con facilidad y rapidez
- Deben impedir que se junte escoria
- Los barrotes de la parrilla deben ser de buena calidad para que no se quemen o deformen. .
- Deben ser durables.
- Algunos diseños de parrillas permiten que por su interior pase agua para refrigerarla y evitar recalentamientos.

b) Tipos de Parrillas.

Según su instalación.

- Fijas o Estacionarias.- Son aquellas que no se mueven durante el trabajo.
- Móviles o Rotativas.- Son aquellas que van girando o avanzando mientras se quema el combustible.

Según su posición.

- Horizontales
- Inclinas
- Escalonadas

**Cenicero:** Es el espacio que queda bajo la parrilla y que sirve para recibir las cenizas que caen de ésta. Los residuos acumulados deben retirarse periódicamente para no obstaculizar el paso de aire necesario para la combustión. En algunas calderas el cenicero es un depósito de agua.



***Ilustración 11: Presentación grafica del cenicero.***

**Puerta del cenicero:** Accesorio que se utiliza para realizar las funciones de limpieza del cenicero. Mediante esta puerta regulable se puede controlar también la entrada del aire primario al hogar.

Cuando se hace limpieza de fuegos o se carga el hogar, se recomienda que dicha puerta permanezca cerrada con el objetivo de evitar el retroceso de la llama.

**Altar:** Es un pequeño muro de ladrillo refractario, ubicado en el hogar, en el extremo opuesto a la puerta del fogón y al final de la parrilla, debiendo sobrepasar a ésta en aproximadamente 30 cm.

Los objetivos del altar son:

Impedir que caigan de la parrilla residuos o partículas de combustibles. Ofrecer resistencia a las llamas y gases para que estos se distribuyan en forma pareja a lo ancho de la parrilla y se logre en esta forma una combustión completa. Poner resistencia a los gases calientes en su trayecto hacia la chimenea. Con esto se logra que entreguen todo su calor y salgan a la temperatura adecuada.

**Mampostería:** Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:

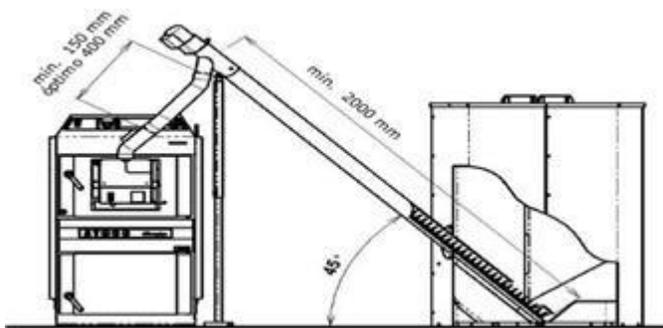
a) Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.



b) Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.

Para mejorar la aislación de la mampostería se dispone a veces en sus paredes de espacios huecos (capas de aire) que dificultan el paso del calor. En algunos tipos de calderas, se ha eliminado totalmente la mampostería de ladrillo, colocándose solamente aislación térmica en el cuerpo principal y cajas de humos. Para este objeto se utilizan materiales aislantes tales como lana de vidrio recubierta con planchas metálicas y asbestos.

**Conductos de humo:** Son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. De esta forma se aprovecha el calor entregado por éstos para calentar el agua y/o producir vapor.



**Ilustración 12: Presentación grafica de los conductos de humo.**

**Caja de humo:** Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

**Chimenea:** Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.



***Ilustración 13: Presentación grafica de la chimenea.***

**Regulador de tiro o templador:** Consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma y que tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

Este accesorio es accionado por el operador de la caldera para regular la cantidad de aire en la combustión, al permitir aumentar (al abrir) o disminuir (al cerrar) el caudal. Generalmente se usa en combinación con la puerta del cenicero.

**Tapas de registro o puertas de inspección:** Son aberturas que permiten inspeccionar, limpiar y reparar la caldera. Existen dos tipos, dependiendo de su tamaño:

- Las puertas hombre (manhole)
- Las tapas de registro ( handhole)

La puerta hombre por sus dimensiones permite el paso de un hombre al interior de la caldera. Las tapas de registro por ser de menor tamaño sólo permiten el paso de un brazo.

**Puertas de explosión:** Son puertas metálicas con contrapeso o resorte, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión.



**Cámara de agua:** Es el espacio o volumen de la caldera ocupado por el agua. Tiene un nivel superior máximo y uno inferior mínimo bajo el cual, el agua, nunca debe descender durante el funcionamiento de la caldera.

**Cámara de vapor:** Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamado " domo" y que contribuye a mejorar la calidad del vapor.

**Cámara de alimentación de agua:** Es el espacio comprendido entre los niveles máximo y mínimo de agua. Durante el funcionamiento de la caldera se encuentra ocupada por vapor y/o agua, según sea donde se encuentre el nivel de agua.

## **Accesorios de calderas**

### **1. Accesorios de observación**

- **Indicadores de nivel del agua:** Las calderas deben tener a lo menos dos indicadores de nivel de agua y, al menos uno debe ser del tipo tubo de vidrio (observación directa). El otro puede ser de grifos o llaves de prueba.

El indicador de nivel de agua de observación directa debe estar en la parte más visible para el operador de caldera, y consiste en dos conexiones de metal, comunicadas una a la cámara de vapor y la otra a la cámara de agua de la caldera. Exteriormente están unidas por medio de un tubo de vidrio que indica el nivel de agua que hay en el interior de la caldera. Si está a más de tres metros de altura se debe colocar inclinado hacia adelante para facilitar su visión.



- **Indicadores de presión:** Toda caldera debe contar con un manómetro, que es un instrumento que mide la presión efectiva que existe dentro de una caldera. No se puede operar una caldera que no tenga el manómetro adecuado y en buenas condiciones. El manómetro está conectado a la cámara de vapor de la caldera a través de una cañería curva, con forma U o S, de modo que sobre él actúe agua y no vapor.
- **Analizadores de gases de la combustión:** Son aparatos que sirven para controlar la calidad de la combustión dentro del hogar, estos analizan los gases que salen por la chimenea.
- **Indicadores de temperatura:** Son instrumentos destinados a medir la temperatura, ya sea del agua de alimentación, del vapor, de los gases de la combustión, del petróleo u otras. Se usa termómetro o pirómetros.

## **2. Accesorios de seguridad**

- **Válvulas de seguridad:** Tienen por objeto dar salida al vapor de la caldera cuando éste sobrepasa la presión máxima de trabajo. Todas las calderas deben tener una o más válvulas de seguridad. En estos encontramos:
  - a) **Válvulas de Seguridad de Resortes:** La fuerza que mantiene cerrada la válvula se consigue con un resorte calibrado, cuya tensión está en relación con la presión de trabajo de la caldera.
  - b) **Válvulas de Seguridad de Palanca y Contrapeso:** El cierre de esta válvula se produce mediante un contrapeso colocado sobre un brazo de palanca que la presiona. La regulación de esta válvula se consigue alejando o acercando el contrapeso de la válvula.
  - c) **Válvula de Peso Directo:** En estas válvulas la presión sobre ella se consigue a través de unos discos metálicos cuyo peso actúa sobre dicha válvula. Para regularla a la presión deseada se agregan o sacan discos.



- d) Tapón fusible:** Consiste en un tapón de bronce con hilo que comunica la cámara de agua con el fogón de la Caldera. Va instalado en el tubo hogar y tiene un orificio cónico en el centro.
- e) Alarmas:** Algunos generadores de vapor llevan silbatos de alarma que funcionan cuando el nivel de agua en el interior de la caldera ha bajado más allá del nivel mínimo aceptable

### **3) Accesorios de Alimentación de Agua**

- **Bombas de alimentación:** Las bombas de alimentación de agua las encontramos de dos tipos: bombas de émbolo y bombas centrífugas, las cuales sirven para reponer el agua que se ha vaporizado en el interior de la caldera.
- **Inyectores de agua:** Los inyectores funcionan con el mismo vapor que produce la caldera y son capaces de descargar agua a una presión de 2 a 4 Kg./cm<sup>2</sup>. Un inyector trabaja mejor mientras mayor sea la presión del vapor de una caldera y el agua de alimentación lo más fría posible. Ningún sistema de alimentación de agua para calderas puede estar conectado directamente a la red de agua potable.

### **4) Accesorios de Limpieza**

- **Puertas de inspección:** Según sus dimensiones se llaman puertas de hombre o tapas de registro. En estas últimas sólo permiten el paso de un brazo. Ambas puertas sirven para efectuar limpiezas o inspecciones en el interior de los colectores principales o de los tubos según sea su ubicación.
- **Llaves de purga:** Se pueden distinguir las válvulas de extracción de fondo que va ubicada en las partes más bajas de la caldera y sirven para extraer los lodos o barros provenientes de la vaporización de las aguas duras y acción del uso de los desincrustantes y las válvulas de extracción de superficie la cual sirve para botar algunas impurezas livianas.



- **Sopladores de hollín - limpia tubos mecánicos:** El hollín se acumula sobre las partes expuestas a los gases de la combustión. Como el hollín tiene un alto poder aislante del calor, se hace necesario evitar que se adhiera a los tubos de la caldera.

## **5) Accesorios de alimentación de combustible**

- **Quemadores de combustible líquido:** Estos trabajan normalmente con petróleo, fuel - oil, parafina, etc. Consta de las siguientes partes: Atomizador, Registro de aire natural o mecánico y Válvulas o conexiones necesarias.
- **Quemadores para carbón pulverizado:** Queman carbón finamente dividido, mantenido en suspensión en el aire primario. El aire secundario es admitido alrededor del quemador, por debajo del mismo o por otros puntos del hogar.

## **6) Accesorios recuperadores de calor**

- **Economizadores:** En algunas instalaciones de calderas, para aprovechar el exceso de calor que llevan los humos y gases antes de salir por la chimenea, se les dota de economizadores, en éstos se precalienta el agua de alimentación. Algunos de los accesorios con que deben contar los economizadores son:
  - Manómetro
  - Termómetro
  - Válvula de Seguridad
  - Llaves para extracción de fondos
  - Aberturas para limpieza de hollín y ceniza
- **Calentadores de aire (precalentadores):** Son accesorios que tienen por objeto calentar el aire que se envía al hogar para la combustión, aprovechando parte del calor que contienen los gases calientes antes de salir por la chimenea.



- **Retardadores:** Consisten en una plancha lisa, del mismo ancho que el diámetro interior del tubo, torcida en forma de hélice la que se mete en el tubo. Los gases calientes tienen ahora que recorrer un camino mayor, siendo más lento el paso de ellos por el interior de los tubos y entregando mayor cantidad de calor.

## **7) Accesorios de control del grado de calentamiento del vapor**

- **Sobrecalentadores:** El vapor saturado se puede convertir en vapor sobrecalentado si lo paramos de la caldera y le suministramos calor manteniéndole su presión.
- **Saturadores o atemperadores:** En muchos procesos se requiere vapor saturado. Si la planta está entregando vapor sobrecalentado es necesario transformarlo, para lo cual se usan los saturadores. Estos consisten en un tubo en forma de serpentín sumergido en la cámara de agua de la caldera. Entregan así calor al agua y dejan el vapor a la temperatura de saturación.

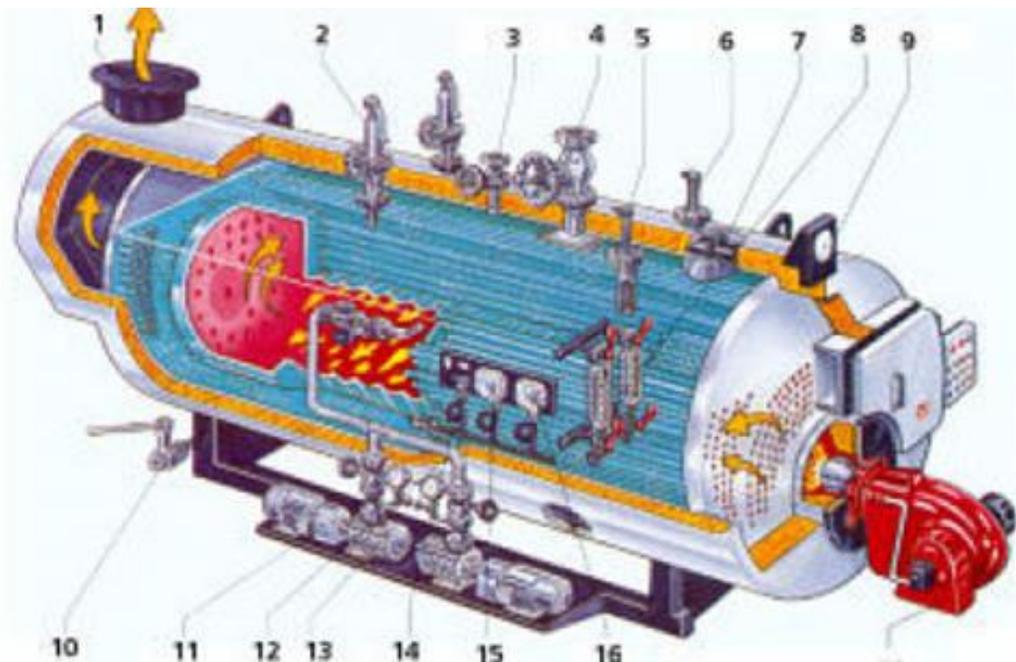
## **8) Accesorios de control automáticos**

- **Control de presión o presostatos:** Actúan sobre el quemador, apagándolo al llegar a la máxima presión para lo cual fue regulado y encendiéndolo al alcanzar la mínima presión deseada.
- **Control de temperaturas o termostatos:** Este funciona de acuerdo a la temperatura del agua, vapor o gases de la combustión. Apagan el quemador cuando se obtiene la máxima temperatura deseada y lo encienden cuando se ha llegado a la mínima temperatura para la cual fue regulado.
- **Control de aire:** Este control consiste en un switch de mercurio que actúa por medio de la presión de aire y que está conectado en el cabezal del quemador, previniendo la operación de este sin el aire auxiliar.
- **Control de bajo nivel de agua:** Los controles de nivel de agua funcionan por medio, de un flotador, que al llegar el agua al nivel máximo corta desconecta



la bomba de alimentación. Al bajar el agua a su nivel mínimo de trabajo, vuelve a conectar la bomba. Sí en este último caso la bomba no respondiera a la puesta en marcha y el nivel continuara bajando, este control generalmente está provisto de una tercera posición, en la cual corta la corriente al quemador.

- **Control del encendido (chispa):** Por medio de este control, se impide que salga combustible sin que exista la chispa para encender.
- **Control de la llama:** Mediante una celda fotoeléctrica se controla la llama (su largo) impidiendo la alimentación de combustible en caso que ésta no exista en el hogar.



***Ilustración 14: Presentación grafica de las partes de una caldera.***



1. Evacuación de humos.
2. Válvulas de seguridad.
3. Salida auxiliar de vapor.
4. Salida principal de vapor.
5. Seguridad de nivel.
6. Regulador y seguridad de nivel.
7. Entrada hombre.
8. Indicadores de nivel.
9. Manómetro.
10. Purga y vaciado.
11. Manómetro.
12. Alimentación de agua.
13. Bombas alimentación de agua.
14. Trasmisor de presión.
15. Presostato de seguridad.
16. Presostato de regulación.
17. Equipo combustión.

### **Tipos de combustibles que utilizan las calderas.**

Los combustibles son sustancias que proporcionan energía calorífica cuando se combina químicamente con oxígeno. Existen combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

Las calderas de vapor utilizan tres tipos de combustible más comunes el carbón, fuel-oíl y gas. También se usan residuos industriales o comerciales en ciertas calderas y electricidad para las calderas de electrodos. Normalmente, el tipo de combustible se elige dependiendo de cuál tiene la tarifa más atractiva.

#### **➤ Carbón.**

El carbón es un tipo de roca formada por el elemento químico carbono mezclado con otras sustancias. Carbón es el término genérico dado a una familia de combustibles sólidos con un alto volumen de carbono. En esta familia, hay varios



tipos de carbón, cada uno relacionado con la fase de formación del carbón y el volumen de carbono. Estos estados son:

Turba.

Lignito.

Carbón bituminoso.

Semi bituminoso.

Antracita

Un promedio razonable para producir aproximadamente 8 kg de vapor se ha de quemar 1 kg de carbón.

➤ **Petróleo.**

El Fuel-oíl que se usa como combustible en la caldera proviene del residuo producido de petróleo crudo después de que se ha destilado para producir productos más ligeros como el aceite de motor, parafina, queroseno, diésel y gasoil.

Hay varios grados disponibles, cada una adecuada para los diferentes tipos de calderas, los grados son los siguientes:

Clase D: Gasoil.

Clase E: Fuel-oíl ligero.

Clase F: Fuel-oíl medio.

Clase G: Fuel-oíl pesado.

Puede producirse aproximadamente 15 kg de vapor por kg de Fuel-oíl o 14 kg de vapor por litro de Fuel-oíl.



➤ **Gas.**

El gas es la forma de combustible de caldera que es fácil quemar con poco exceso de aire. Los gases combustibles están disponibles en dos formas diferentes:

Gas natural.

Gas que se ha producido (de manera natural) bajo tierra. Se usa en su estado natural, salvo la eliminación de impurezas, y contiene metano en su forma más común.

El gas licuado de petróleo (GLP).

Éstos son gases que se producen al refinar el petróleo y se almacenan bajo presión en un estado líquido hasta que se vayan a usar. Las formas más comunes de GLP son propano y butano. Una termia de gas producirá aproximadamente 42 kg de vapor en la salida de una caldera a 10 bar de presión, con una eficacia de la caldera del 80%.

➤ **Combustible de residuos.**

Ésta puede ser una fuente barata de combustible primario para las calderas. Antiguamente, las calderas de combustible de residuos podían quemar desechos derivados del proceso como cortezas de madera o el aceite sucio.

Ahora es más normal que el combustible de residuos sea quemado como parte de un paquete de energía total.

Un ejemplo sería un hospital quemando los residuos en un incinerador de gas donde los gases calientes mezclados se usarían para alimentar una planta productora de vapor.



### **Descripción del funcionamiento de las calderas pirotubulares.**

En este tipo de caldera el humo caliente procedente del hogar circular por el interior de los tubos gases, cambiando de sentido en su trayectoria, hasta salir por la chimenea.

El calor liberado en el proceso de combustión es transferido a través de las paredes de los tubos al agua que los rodea, quedando todo el conjunto encerrado dentro de una envolvente o carcasa convenientemente calorifugada.

A través de este recorrido, el humo, ceden gran parte de su calor al agua, vaporizándose parte de esta agua y acumulándose en la parte superior del cuerpo en forma de vapor saturado. Esta vaporización parcial del agua es la que provoca el aumento de la presión del interior del recipiente y su visualización en el manómetro.

Este tipo de generadores, por su diseño no admiten presiones de trabajo elevadas, más allá de las dos o tres atmósferas; son de construcción sencilla y disponen de moderada superficie de intercambio, por lo que no se utilizan para elevadas producciones de vapor.

Son en compensación, muy económicos en costo y de instalación sencilla, por lo que su utilización actual primordial es para calefacción y producción de vapor para usos industriales.



## **B. TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS UTILIZADAS EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

### **Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo se puede definir como la serie de acciones que se realizan y las técnicas que se aplican para detectar fallas y defectos de la maquinaria en su etapa inicial, es una estrategia de mantenimiento que busca por medio de la medición y el análisis de los diversos síntomas que la máquina emite al exterior establecer la condición mecánica de la máquina y su evolución en el tiempo, con la finalidad de conseguir evitar que las fallas se manifiesten perjudicialmente durante el funcionamiento de las máquinas y sistemas, de tal forma que no se ocasionen paradas de emergencia y no se provoquen tiempos improductivos innecesarios que causen un impacto financiero negativo.

La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación y formación de personal calificado. Las técnicas más características utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo son, por ejemplo, analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones), boroscopias (para poder ver lugares ocultos), ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros), análisis de aceites lubricantes, termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado), medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, caudal, presión, temperatura, etc.).

Por lo tanto, en este tipo de casos no funcionan de forma óptima las tareas de mantenimiento preventivo para prevenir fallos en el funcionamiento de las máquinas y sistemas industriales; y no se consigue minimizar los costes de mantenimiento y de operación, ni se consigue maximizar los tiempos productivos.

Así, para lograr minimizar los costes y maximizar los tiempos productivos y el beneficio es necesario implantar un sistema de mantenimiento basado en las



condiciones de funcionamiento de la maquinaria y de los sistemas industriales (mantenimiento predictivo). Este tipo de intervención se conoce como mantenimiento predictivo, y viene a suponer toda una revolución dada su filosofía de anticipación a la avería por medio del conocimiento del comportamiento de la máquina y de cómo debería comportarse, conociendo de este modo previamente qué elemento puede fallar y cuándo.

Una de sus grandes ventajas es que se lleva a cabo mientras la máquina está en funcionamiento y sólo se programa su detención cuando se detecta un problema y se desea corregir.

Los elementos claves en un programa de mantenimiento predictivo son tres: detección, diagnóstico y documentación.

- Detección: Identificación del fallo mediante el uso de tendencias y sistemas de supervisión que alertan de posibles desviaciones de un determinado parámetro.
- Diagnóstico: Determinación del fallo mediante reconocimiento de patrones y comparación con situaciones preestablecidas.
- Documentación: Registro de los acontecimientos sucedidos y de sus posibles recomendaciones. Entre los que se incluyen los siguientes: condiciones de ejecución de la prueba, descripción de las pruebas, estado del equipo, resultado de la prueba, etc.

Las actividades de mantenimiento predictivo se realizan principalmente para determinar la naturaleza de las anomalías y confirmar el estado en que se encuentran los componentes. Siendo fundamental la designación de personal específicamente destinado a este tipo de mantenimiento. Así mismo, en un programa de mantenimiento predictivo ideal muchas de las órdenes generadas serán fruto del resultado obtenido en los distintos diagnósticos realizados con anterioridad.



***Ilustración 15: Pasos a seguir en el mantenimiento predictivo.***

Los pasos que se deben seguir para un mantenimiento predictivo son los siguientes:

**Algunas ventajas importantes del mantenimiento predictivo:**

1. Las técnicas de detección del mantenimiento predictivo son en su mayor parte técnicas "on-condition" que significa que las inspecciones se pueden realizar con la maquinaria en operación a su velocidad máxima.
2. El mantenimiento predictivo permite administrar las fallas antes de que ocurran en operación.
3. Conocemos el estado de la máquina en todo instante.
4. Eliminamos prácticamente todas las averías.
5. Solo paramos o intervenimos en la máquina cuando realmente es necesario.
6. Conocemos el daño en los componentes desde una fase inicial del mismo, permitiéndonos programar su sustitución en el momento más conveniente.
7. Al intervenir en la máquina conocemos el problema, reduciendo el tiempo de la reparación.
8. Podemos identificar los fallos ocultos, así como la causa de fallos crónicos.
9. Reducimos las piezas del almacén, adquiriéndolas cuando detectamos el problema en una fase primaria.
10. Incrementamos la seguridad de la planta.



## **Técnicas de análisis del mantenimiento predictivo**

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas en intervalos periódicos de tiempo (o de forma continua) hasta que el componente falle.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o prever, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por este motivo se denominan técnicas predictivas. De esta forma, observando la evolución de ciertos parámetros físicos, químicos, etc., se puede comprobar la tendencia que se da hacia un empeoramiento del funcionamiento del elemento que se desea controlar con el objeto de mantenerlo.

De esta manera se va monitoreando el o los parámetros que se han elegido como característicos del elemento o sistema de estudio, comprobando su valor en cada medición que se realiza a lo largo del tiempo de funcionamiento de dicho componente. De esta forma, cuando el parámetro alcanza un valor máximo admisible (que debe ser propuesto y admitido de la misma forma que el parámetro a medir antes de empezar el monitoreo o medición), que marca el límite máximo de funcionamiento correcto del sistema. Con todo esto se lleva a cabo un monitoreo de tendencias (o estudio de evolución de tendencias) con los valores medidos periódicamente de los parámetros de funcionamiento que describe el estado de la maquinaria industrial.

Para definir y gestionar la evolución y monitoreo de tendencias de dichos parámetros de funcionamiento representativos se proponen y definen unos valores mínimos de pre-alarma (valor de alarma) y máximos de actuación (límite máximo admisible) de todos aquellos parámetros que se acuerda medir y gestionar.



Estos valores definidos de alarma y de límite máximo de funcionamiento o actuación se suelen establecer acordes con las normas de funcionamiento, tanto nacionales como internacionales, y usando criterios y valores de correcto funcionamiento dados por los fabricantes de los elementos a estudiar. También son muy importantes los criterios aportados por los técnicos especialistas y por los analistas que se encargan de realizar el mantenimiento de forma adecuada.

De esta forma, con una serie de criterios se puede observar, hacer las mediciones necesarias, evaluar la información, realizar un diagnóstico, poder determinar la condición de estado de un equipo, y establecer las medidas correctoras que se deben realizar, tales como efectuar un monitoreo con más frecuencia, hacer revisiones, arreglos, reparaciones, sustituciones, etc.

### **Tecnologías aplicables y métodos de control usados en el mantenimiento predictivo.**

El mantenimiento realizado en base al deterioro significativo de un equipo, señalado por la variación de un parámetro controlado e indicativo del funcionamiento de dicho equipo se denomina mantenimiento predictivo.

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir los fallos antes de que se produzcan. Es decir, trata de conseguir adelantarse a los fallos o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitorización de parámetros físicos.

Los síntomas de un posible fallo son monitoreados y las reparaciones son efectuadas antes del fallo del equipo. Las acciones recomendadas son en función de la importancia del equipo, de los límites de deterioro del equipo, del impacto del deterioro del equipo, del análisis de la tendencia, etc.



## **Monitoreo**

Con el monitoreo de la condición de una máquina se busca: vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

- **Vigilancia:** Cuando se mide una variable física con este objetivo se busca que la técnica predictiva empleada indique la existencia de un problema. Debe distinguir entre condición buena o mala para funcionar, e incluso, si es mala, indicar cuán mala es. Es el caso de la monitorización en continuo de las vibraciones de una turbina de gas, por ejemplo. Así, su objetivo es indicar cuándo existe un problema; y debe distinguir entre que se encuentre bien la máquina, y entre la presencia o existencia de algún fallo; y además si hay fallo indicar la magnitud del mismo.
- **Protección:** Su objetivo es evitar roturas, desperfectos de gran magnitud, o fallos desastrosos. Una máquina está protegida si cuando los valores que indican su condición alcanzan valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.
- **Diagnóstico de fallos:** Su objetivo es identificar y definir cuál es el problema específico que presenta el equipo, no sólo si existe un problema o no.
- **Pronóstico:** El objetivo es estimar cuánto tiempo más podría funcionar la máquina sin riesgo de un fallo catastrófico, es decir estimar el tiempo de vida útil restante de la máquina. Lo que se intenta conseguir es obtener un pronóstico de la esperanza de vida de un componente o de la maquinaria.



**El control de condición o estado del equipo utilizado en las técnicas empleadas en el mantenimiento predictivo puede ser de dos tipos diferentes:**

### **1. Técnicas de control en marcha**

Control que puede llevarse a cabo sin interrupción de la operación del equipo; es decir utilizando técnicas de control en marcha, o en operación de funcionamiento normal.

A continuación se detallan las técnicas predictivas de este tipo de control que son las más usadas:

#### **Inspección visual, acústica y al tacto de los componentes accesibles:**

Las inspecciones visuales consisten en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas, fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión.

Abarca desde la simple inspección visual directa de la máquina hasta la utilización de complicados sistemas de observación como pueden ser microscopios, endoscopios y lámparas estroboscópicas. Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgaste, soltura de elementos de fijación, cambios de color, etc. Se aplica a zonas que se pueden observar directamente y, cada vez más, se diseñan las máquinas para poder observar partes inaccesibles sin necesidad de desmontar.

Por otro lado, se puede añadir que también se pueden hacer una serie de lecturas de indicadores que consiste en la anotación de los diferentes parámetros que se miden en continuo en los equipos, para compararlos con su rango normal. Fuera de ese rango normal, el equipo tiene un fallo. Estas inspecciones y lecturas, por su



sencillez y economía, es conveniente que sean realizadas a diario, incluso varias veces al día, y que abarquen al mayor número de equipos posible. Suele llevarlas a cabo el personal de operación, lo que además les permite conocer de forma continua el estado de la planta.

### **Medida y control de la presión.**

Dependiendo del tipo de máquina puede ser interesante para confirmar o descartar ciertos defectos, utilizada conjuntamente con otras técnicas predictivas. Se suele utilizar la presión del proceso para aportar información útil ante defectos como la cavitación, condensación de vapores o existencia de golpes de ariete. En otros casos es la presión de lubricación para detectar deficiencias o problemas en los cierres por una presión insuficiente o poco estable.

### **Medida y control de la temperatura**

Las variaciones frecuentes de la temperatura de un equipo se pueden monitorizar fácilmente. Los sensores de temperatura son los termómetros, termopares, termistores, pinturas, polvos térmicos y cámaras de infrarrojos. Dos ejemplos donde el monitorizado de temperatura nos alerta de problemas mecánicos son la temperatura del lubricante de salida y la temperatura del agua de refrigeración de la máquina. Un aumento excesivo de temperatura hace descender la viscosidad de modo que puede llegar a romperse la película de lubricante.

En ese caso se produce un contacto directo entre las superficies en movimiento con el consiguiente aumento del rozamiento y del calor generado por fricción, pudiendo provocar dilataciones y fusiones muy importantes. Así mismo se eleva la temperatura cuando existe exceso o falta de lubricante.



## **Medida y control de caudales**

En algunas máquinas es muy útil la medida y el control del caudal de gases, o líquidos que pasan a través de ellas. Con su control es posible comprobar si hay obstrucciones en los conductos debidos a ensuciamiento, o si hay erosión, corrosión, etc.

## **Termografía Infrarroja**

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura del objeto que resulta de interés, y ayuda a detectar puntos calientes o fríos que un futuro pudiesen dar problemas como por ejemplo en cables, donde un punto caliente nos podría indicar una posible sobre intensidad.

La termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible (para el ojo humano) emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial.

## **Detección de pérdidas**

Se dispone de varias técnicas para la detección de fugas que incluyen los métodos de agua jabonosa. El uso de preparados específicos puede hacer el método más efectivo, capaz de detectar pérdidas muy pequeñas.

## **Análisis de vibraciones**

Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración. El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un



equipo en funcionamiento para su posterior análisis. Las vibraciones en una maquinaria están directamente relacionadas con su vida útil de dos maneras: por un lado un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento continuo en el nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina se encamina hacia algún tipo de fallo o avería, aunque no todos los tipos de vibraciones son evitables, ya que algunas son inherentes a la operación de la maquinaria en sí misma, por lo que una de las tareas del analista es identificar aquellas que deben ser corregidas y determinar un nivel de vibraciones tolerable.

Por tal motivo el nivel vibratorio puede ser usado como parámetro de control funcional para el mantenimiento predictivo de máquinas, estableciendo un nivel de alerta y otro inadmisibles a partir del cual la fatiga generada por los esfuerzos alternantes provoca el fallo inminente de los elementos afectados.

Existen dos técnicas de análisis de vibraciones diferentes:

- Medición de la amplitud de la vibración: Da un valor global del desplazamiento o velocidad de la vibración. Cuando la vibración sobre pasa el valor preestablecido, el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica donde está el problema.
- Analizador del espectro de vibración: La vibración se descompone según su frecuencia. Analizando el nivel de vibración en cada una de las frecuencias se puede determinar la causa de la anomalía.

### **Control de ruidos**

La detección de sonidos espaciales, como los generados por las fugas, el control de ruidos se puede aplicar de la misma forma que la monitorización de vibraciones. Sin embargo, aunque un ruido es indicador del estado de un equipo,



éste se origina a partir de la vibración de alguna parte de dicho equipo, por lo que normalmente es más efectivo monitorizar la vibración original.

### **Control de corrosión**

Algunos dispositivos eléctricos cambian su resistencia a medida que progresa la corrosión. Usando probetas especiales se puede medir la velocidad de corrosión a partir de la resistencia de polarización de la probeta, ya que la simple medida del potencial entre el electrodo de referencia y el sistema indicará si existe corrosión.

### **Análisis de aceites y lubricantes**

El aceite que circula a través de una máquina muestra las condiciones en que se hallan las partes de la misma con las que se encuentra durante su recorrido. Analizar el aceite y alguna de las partículas que arrastra, permite controlar el estado del equipo en carga o parada. Para ello se utilizan varias técnicas, algunas de ellas muy simples y otras que requieren ensayos laboriosos y equipos caros.

### **Análisis de ultrasonidos**

Existen numerosos fenómenos que van acompañados de emisión acústica por encima de las frecuencias del rango audible. Las características de estos fenómenos ultrasónicos hacen posible la utilización de detectores de ultrasonidos en infinidad de aplicaciones industriales dentro del mantenimiento como por ejemplo: detección de grietas y medición de espesores (por impulso eco); detección de fugas en conducciones, válvulas, etc., verificación de purgadores de vapor; inspección de rodamientos, control de descargas eléctricas.

Estas son algunas de las aplicaciones no habituales de los ultrasonidos, además de las normalmente usadas como ensayo no destructivo para la determinación de defectos internos en piezas, en cuyo caso, es el técnico el que realiza la emisión acústica para poder detectar el defecto.



El ultrasonido es una onda acústica cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 20.000 Hz), por lo que con el analizador de ultrasonidos se consigue detectar dichos sonidos y analizarlos para poder ver las causas que los provocan, localizando gracias a ellos partes de la maquinaria analizada (por ejemplo una turbina) que no estén funcionando de forma correcta y en un futuro nos puedan provocar una avería.

### **Análisis de gases de escape y monitoreo de contaminantes**

Con el análisis de gases de escape lo que se consigue es comprobar a través de la medición de la composición de estos, posibles fallos en máquinas o motores térmicos de combustión interna tales como turbinas de gas, motores alternativos, etc.; observando fallos en las cámaras de combustión o en las mezclas de combustible y comburente. Así mismo se puede medir la composición de los gases de escape en calderas, etc.

El analizador de gases es el instrumento que se utiliza para determinar la composición de los gases de escape en calderas y en motores térmicos de combustión interna. Consta básicamente de un elemento sensor que puede llevar integrada la medición de varios gases o uno sólo, y un módulo de análisis de resultado, donde el instrumento interpreta y muestra los resultados de la medición. El equipo es capaz de medir la concentración en los gases de escape de un número determinado de compuestos gaseosos.

Los compuestos gaseosos que se miden habitualmente y los parámetros a controlar son los que se detallan a continuación: Metano (CH<sub>4</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Nitrógeno (N<sub>2</sub>), Cobalto (Co), Nobelio (No), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Nitrato (NO<sub>3</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Trióxido de Azufre (SO<sub>3</sub>), Agua (H<sub>2</sub>O), temperatura de gases de escape, opacidad de los humos, partículas sólidas, etc.



La concentración de estas sustancias en los gases de escape se mide con dos finalidades, igualmente importantes: En primer lugar se intenta asegurar el cumplimiento de los condicionantes ambientales del motor, en base a los permisos y normativas legales que deba cumplir la planta industrial; y en segundo lugar se debe asegurar el buen funcionamiento de la caldera, del motor o de la turbina.

### **Monitoreo en línea**

Esta técnica consiste en mediciones de carácter constante, que se realiza por medio de instrumentos de medición instalados en equipos críticos que merecen especial atención en el comportamiento de los diferentes parámetros de operación. Estas señales son enviadas al control central donde son analizadas. Estas mediciones pueden ser:

- Análisis químicos.
- Mediciones eléctricas (resistencia).
- Partículas (ferrografías).
- Temperaturas (termografía, fibra óptica, infrarrojos).
- Dinámica (torques, vibraciones, caudales, acústicos).

### **2. Técnicas de control en parada**

Control que requiere la parada del equipo, o al menos alejarse de sus condiciones normales de funcionamiento; es decir utilizando técnicas de control en parada.

A continuación se detallan las técnicas predictivas de este tipo de control que son las más usadas:



## **Inspección visual, acústica y al tacto de las partes móviles en situación de parada.**

El estado de la mayoría de los componentes de las transmisiones puede examinarse visualmente de una forma rápida, así por ejemplo el estado superficial de los dientes de los engranajes nos ofrece mucha información. Los problemas de sobrecarga, fatiga, desgaste y pobre lubricación de los engranajes pueden diferenciarse a partir del aspecto de sus dientes.

## **Inspecciones boroscópicas**

Las inspecciones boroscópicas son inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico, el boroscopio. Se desarrolló en el área industrial a raíz del éxito de las endoscopias en humanos y animales. El boroscopio, también llamado videoscopio o videoboroscopio, es un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un sistema telescópico con numerosas lentes, que aportan una gran definición a la imagen. Además, está equipado con una poderosa fuente de luz. La imagen resultante puede verse en la lente principal del aparato, en un monitor, o ser registrada en un videograbador o una impresora para su análisis posterior.

Los defectos que se pueden identificar en las inspecciones boroscópicas son, entre otras:

- Erosión.
- Corrosión.
- Pérdida de material cerámico en álabes o en placas aislantes.
- Roces entre álabes fijos y móviles.
- Decoloraciones en álabes del compresor, por alta temperatura.
- Pérdidas de material de los álabes del compresor que se depositan en los álabes de turbina o en la cámara.



- Deformaciones.
- Piezas sueltas o mal fijadas, sobre todo de material aislante.
- Fracturas y agrietamiento en álabes, sobre todo en la parte inferior que los fija al rotor.
- Marcas de sobre temperatura en álabes.
- Obstrucción de orificios de refrigeración.
- Daños por impactos provocados por objetos.

### **Detección de fisuras y grietas**

La mayoría de los fallos importantes están precedidos por el crecimiento de una grieta a partir de un punto de concentración de tensiones o de un defecto del material en la superficie del componente. Los fallos por fatiga generalmente aparecen sin aviso. Sin embargo, lo que ocurre es que los inicios de las fisuras no son normalmente visibles en una inspección somera. Para superar estas dificultades se han desarrollado varias técnicas de detección de fisuras:

- Ensayo de líquidos penetrantes en la superficie de las fisuras: Las fisuras hasta un tamaño muy pequeño se pueden observar a simple vista. Se trata de una inspección no destructiva que se usa para encontrar fisuras superficiales o fallos internos del material que presentan alguna apertura en la superficie. Se utilizan, en muchos casos, tinturas fluorescentes que se aprecian con el uso de una luz ultravioleta.
- Ensayo de pulverizado de partículas magnéticas: Se trata de otro ensayo no destructivo que permite igualmente descubrir fisuras superficiales así como no superficiales. Se basa en la magnetización de un material ferromagnético al ser sometido a un campo magnético. Los defectos se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de las partículas, la fisura se localiza utilizando las partículas magnéticas.



- Ensayo de resistencia eléctrica: La presencia de una fisura aumentará la resistencia medida entre dos probetas en contacto con la superficie. A pesar de las dificultades con la superficie de contacto, este método puede usarse para detectar y medir la profundidad de las grietas.
- Ensayo de corrientes inducidas: Una bobina por la que circula corriente situada cerca de la superficie induce corrientes de Foucault en el material. Estas corrientes se detectan o por un cambio en la inductancia de la bobina generadora o en la de otra bobina. Aunque no es necesario disponer de una superficie suave y limpia, pueden aparecer problemas de interpretación de resultados.
- Ensayo de ultrasonidos: Es el método más común para detectar grietas y otras discontinuidades (fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación del material) en materiales gruesos, donde la inspección por rayos X se muestra insuficiente al ser absorbidos, en parte, por el material. Midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión de la señal y la recepción de su eco se puede determinar la distancia del defecto, ya que la velocidad de propagación del ultrasonido en el material es conocida. Tiene la ventaja adicional de que además de indicar la existencia de grietas en el material, permite estimar su tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución del defecto. También se está utilizando esta técnica para identificar fugas localizadas en procesos tales como sistemas de vapor, aire o gas por detección de los componentes ultrasónicos presentes en el flujo altamente turbulentos que se generan en fugas (válvulas de corte, válvulas de seguridad, purgadores de vapor, etc.).

### **Detección de fugas**

La detección por ultrasonidos puede aplicarse a las unidades fuera de servicio colocando un generador ultrasónico en el interior del equipo que se examina.



## **Ensayo de vibraciones**

La respuesta de un sistema a una vibración puede revelar mucha información. Uno de los ensayos más comunes para máquinas rotativas es el de “run-down” que se realiza cuando se está procediendo a la reducción de la velocidad que antecede a la parada total y que aplica el efecto de amplificación de las vibraciones cuando el sistema entra en resonancia.

## **Control de corrosión**

Además de los métodos descritos en servicio, el avance de la corrosión se puede determinar instalando probetas en el equipo y retirándolas periódicamente para su posterior medida y pesada. Las medidas de espesor por ultrasonidos detectarán el cambio en las dimensiones debidas a la corrosión.

Los pasos a seguir durante la evaluación analítica de los defectos detectados por cualquier método de ensayo, serán desarrollados en cada uno de los ensayos que se realicen durante la inspección.



### **C. PRINCIPALES FALLAS QUE PUEDEN PRESENTAR LAS CALDERAS.**

Las calderas por su naturaleza de trabajo están sujetas a diferentes tipos de fallas. Siendo las más comunes en las tuberías y cuerpo de las calderas las siguientes:

#### **EROSIÓN**

- **Por partículas, agua o vapor**

Se presenta pérdida de espesor de la tubería por la incidencia directa sobre ella de un chorro de partículas abrasivas, combustible particulado, ceniza, agua o vapor.

Algunas posibles causas.

- Agrietamiento de una tubería cercana que genera chorros de agua o vapor que inciden en el tubo.
- Excesiva generación de cenizas.
- Molienda deficiente del combustible sólido.
- Contaminación del combustible o aire de combustión por sólidos en suspensión.

#### **AGRIETAMIENTO**

- **Por sobrecalentamiento de corta duración.**

Se presenta una importante expansión del elemento, las superficies de grieta son delgadas (labio delgado), producto del alargamiento de los granos en caliente. Se produce por sobrecalentamiento momentáneo del tubo (más de 650° C).

Algunas posibles causas.

- Contacto directo del tubo con la llama, combustible o cenizas incandescentes.



-Flujo deficiente de agua y/o vapor por el tubo, por problemas en el control del nivel de agua o por un mal procedimiento de arranque del equipo.

-Obstrucción del tubo por ejemplo por depósitos.

- **Por sobrecalentamiento de larga duración.**

Se presenta una ligera expansión del tubo, las superficies de grieta son gruesas (labio grueso), por formación de micro-cavidades y posterior decohesión intergranular. Hay también globulización de la cementita y en algunos casos formación de grafito. Se produce por sobrecalentamiento continuado a temperaturas del orden de 600° C.

Algunas posibles causas.

-Capa gruesa de oxidación en lado de aguas.

-Formación de depósitos en el interior de las tuberías que las aíslan térmicamente.

-Llamas cercanas o cenizas incandescentes.

- **Por fatiga.**

No hay expansión del elemento. Las cargas de fatiga pueden provenir de ciclos de presión o vibraciones (fatiga mecánica), o también de ciclos térmicos (fatiga térmica). La corrosión acelera la velocidad del agrietamiento (corrosión - fatiga).

Algunas posibles causas.

-Ciclos de presión por fuera de parámetros de diseño.

-Concentradores de esfuerzo como juntas soldadas.

-Esfuerzos residuales de montaje que generan vibración y/o dilataciones y contracciones térmicas altas.

-La suma de un ambiente corrosivo severo a lo anterior por inadecuado tratamiento del combustible o del agua.



- **Por corrosión – esfuerzo (corrosión bajo presión)**

No hay expansión del tubo. Las grietas normalmente son múltiples e intergranulares y pueden ser ramificadas.

Algunas posibles causas.

- Material con dureza elevada, producto de un deficiente proceso de fabricación.
- Esfuerzos residuales de soldadura elevados por procesos de pre y postcalentamiento inapropiados.
- Deficiencia en el tratamiento del agua de alimentación.

## **DEPÓSITOS**

- **En el lado de aguas**

Sobre las superficies quedan residuos sólidos, los cuales disminuyen el flujo y la transferencia de calor, lo que dará una mayor temperatura que acelera la oxidación y por lo tanto engruesa la capa de magnetita aislando aún más al tubo, esto finalmente desemboca en sobrecalentamiento.

Las zonas especialmente susceptibles a formar depósitos están en el evaporador.

Algunas posibles causas.

- Tratamiento deficiente del agua de alimentación que la deja con un número alto de sólidos en suspensión.
- Procedimiento de tratamiento de agua deficiente que deje en ésta sólidos provenientes de las sustancias utilizadas para el tratamiento.
- Productos de corrosión de equipos precaldera.



## **INCRUSTACIONES**

Es la formación de costras de hollín e incrustaciones duras en los tubos de intercambio de calor, en el lado de contacto con los gases calientes procedentes de la combustión.

Algunas posibles causas.

Las incrustaciones cristalinas y duras se forman directamente sobre la superficie de calefacción por cristalización de las sales de disolución saturada.

## **FALLAS EN EL ARRANQUE.**

El quemador y el ventilador no arrancan (Hay enclavamiento eléctrico en las calderas moduladas).

Algunas posibles causas:

- Bajo nivel de agua, falla del sistema de energía eléctrica, interruptor manual defectuoso en posición off.
- Control de operación o controles de carácter límite defectuosos o descalibrados.
- Voltajes demasiado altos o bajos.
- Control principal de combustión apagado o defectuoso.
- Fusibles defectuosos en el gabinete de la caldera.
- Térmicos del motor del ventilador o del motor del compresor que saltan.
- Contactos o arrancadores eléctricos defectuosos.
- Motores del compresor y/o ventilador defectuosos.
- Mecanismos de modulación de fuego alto y bajo no se encuentran en la posición adecuado de bajo fuego y fallo en el fluido eléctrico.

## **FALLAS EN EL ENCENDIDO.**

Ventilador y Quemador arrancan pero no hay llama principal.

- **No hay ignición.**



Posible causa:

- Falla de chispa, hay chispa pero no hay llama piloto.
- Válvula solenoide a gas defectuoso.
- Interruptor bajo fuego abierto.

- **Hay llama piloto, pero no hay llama principal**

Posibles causas:

- Llama piloto inadecuada.
- Falla en el sistema de detección de llama.
- Falla en el suministro principal de combustible.
- Programador ineficaz.

- **Hay llama de bajo fuego, pero no de alto fuego.**

Posibles causas:

- Baja temperatura de combustible.
- Presión inadecuada de la bomba.
- Motor modutrol deficiente.
- Articulación suelta o pegada.

- **Falla de llama principal durante el arranque.**

Posibles causas:

- Ajuste defectuoso de aire combustible.
- Control de combustión o programador defectuoso.

- **Falla de llama durante la operación.**

Posibles causas:

- Combustible pobre e inadecuado.



- Fotocelda deficiente.
- Circuito limite abierto.
- Interruptor automático no funciona correctamente.
- Motores ocasionan sobrecargas.
- Control de combustión o programador defectuosos.
- Calibración de quemador incorrecta
- Dispositivos de interconexión defectuosos o ineficaces.
- Condiciones de bajo nivel de agua.
- Falla en el suministro de energía eléctrica.

### **FALLA POR LOS MATERIALES**

- **Soldadura y construcción.**

El conjunto de partes soldadas no debe ser poroso ni tener inclusiones no metálicas significativas, debe formar contornos superficiales que fluyan suavemente con la sección que se está uniendo y no tener esfuerzos residuales significativos por el proceso de soldadura.

- **Corrosión acelerada en lado de aguas.**

Por alta temperatura se genera una capa de magnetita muy gruesa que aísla térmicamente al metal del tubo, subiendo aún más su temperatura, además, estas capas tienden a ser porosas y frágiles, lo que facilita el ataque corrosivo.

Algunas posibles causas.

- Depósitos en las tuberías que disminuyen el flujo y la transferencia de calor.
- Contacto directo del tubo con la llama, con cenizas o combustible incandescente.
- Deficiencias en procedimientos de arranque.
- Problemas en el control del nivel del agua.



- **Corrosión por picaduras en lado del agua.**

En la superficie de los elementos se forman zonas de corrosión preferencial que se profundizan con el tiempo.

Estas picaduras son potenciales núcleos de grietas de fatiga o corrosión bajo tensión. Y también pueden llegar a perforar la tubería.

Algunas posibles causas.

- Tratamiento deficiente del agua de alimentación de la caldera que la deja con alto contenido de oxígeno.
- Capas de magnetita o depósitos porosos y/o agrietados que atrapan fluido y favorecen su ataque.
- Procedimientos deficientes en paradas que permiten el ingreso de aire al interior de las tuberías.

- **Corrosión intergranular en lado de aguas.**

La corrosión se da de manera preferente en límites de grano del material de la tubería o en zonas adyacentes, llegando a generar desprendimiento de los granos.

Algunas posibles causas.

- Susceptibilidad de límites de granos del material o sus zonas adyacentes a corroerse, por precipitación o segregación de elementos o compuestos químicos, producto de ciclos térmicos de fabricación o servicio.
- Alta temperatura y altos esfuerzos residuales contribuyen al fenómeno.

- **Oxidación y corrosión por cenizas en lado de fuegos.**

En el lado de fuegos altas temperaturas producen capas oxidadas gruesas. También se pueden tener gruesas capas de cenizas, las cuales en altas temperaturas se pueden fundir y producir corrosión líquida.



Algunas posibles causas.

-Altos contenidos de Vanadio, Sodio y Azufre en el combustible favorecen la fusión de parte de las cenizas.

-Exceso de oxígeno en la relación aire-combustible o alto contenido de azufre favorecen la oxidación.

-Capas muy gruesas de cenizas.

- **Implosión y explosión.**

Las explosiones en calderas suelen ocurrir cuando la presión a la que está operando la caldera supera la presión para la cual fue diseñada. Generalmente esto ocurre cuando algunos de los sistemas de alarma o control están descalibrados, dañados o no funcionan.

Las implosiones en calderas ocurren generalmente cuando el flujo de agua de entrada para producir vapor no ingresa al equipo, ocasionando un sobrecalentamiento excesivo y el colapso del material.

### **Algunas impurezas que pueden estar presentes en el agua.**

Desde el punto de vista químico se considera como impureza del agua a cualquier sustancia que tenga por composición química una composición diferente de H<sub>2</sub>O, estas impurezas pueden provenir de contaminaciones o bien ser sustancias inherentes al material utilizado en el almacenamiento del agua. Podemos encontrar diversas impurezas tales como: calcio, magnesio, bicarbonatos, carbonatos, sílice, sodio, sólidos disueltos en suspensión, materia orgánica, aceite, hierro, cobre y gases disueltos.

A continuación mostramos alguno de los problemas por la presencia de concentraciones excesiva de alguna de estas impurezas en el agua:



**Tabla 3: Problemas causados por distintas impurezas.**

Problemas causados por las distintas impurezas			
Impurezas	Corrosión	Formación de depósitos	Arrastre
Calcio	----	✓	----
Magnesio	----	✓	----
Bicarbonato	----	✓	----
Carbonato	✓	✓	----
Sílice	✓	✓	Volatilización
Sólidos disueltos	----	----	✓
Sólidos en suspensión	----	✓	✓
Materia orgánica	----	✓	✓
Hierro	----	✓	----

Todos los gases disueltos en el agua pasan al vapor, el oxígeno es muy corrosivo en todo el sistema de vapor. El CO<sub>2</sub>, si bien es totalmente eliminado por el desaireador térmico, puede formarse dentro de la caldera a partir de la alcalinidad (bicarbonatos). El CO<sub>2</sub> es transportado por el vapor y se redisuelve en el condensado bajando su pH, con lo que aumenta la corrosividad del mismo para las cañerías de acero al carbono.

Los sólidos presentes en una caldera y el efecto del calor. Los bicarbonatos constituyen la alcalinidad del agua, es muy raro que los carbonatos estén presentes. Sin embargo como consecuencia de la temperatura se producen reacciones que precipitan el carbonato de calcio (Ca CO<sub>3</sub>) e hidróxido de magnesio (Mg (OH)<sub>2</sub>) y liberan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).



También producen carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), ambos constituyentes de la alcalinidad del agua de la caldera. Elevados tenores de alcalinidad producen severos problemas de corrosión.

**Tabla 4: Acción de los sólidos disueltos inorgánicos en el agua.**

<b>Acción de los sólidos disueltos inorgánicos en el agua</b>	
Hidrogeno Carbonato de Calcio( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ )	Estas sustancias sufren transformaciones por acción del calor.
Bicarbonato de magnesio soluble ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ )	
Bicarbonato de sodio( $\text{NaHCO}_3$ )	
Sulfato de calcio anhidro ( $\text{CaSO}_4$ )	Solubilidad limitada.
Sulfato de magnesio anhidro ( $\text{MgSO}_4$ )	Solubles en el agua de la caldera
Sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	
Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ )	
Cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ )	
Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ )	

Los sólidos disueltos, al aumentar su concentración, alcanzan sus solubilidades y pasan a incrementar los sólidos en suspensión. El exceso de sólidos disueltos y en suspensión, y la presencia de trazas de aceites o detergentes, es causa de formación de espumas y arrastre de gotas en el vapor.

Los sólidos en suspensión, y especialmente la dureza, tienden a provocar incrustaciones sobre los tubos donde se depositan. Estos depósitos constituyen una capa de muy baja conductividad térmica, retardando la transferencia de calor desde la llama al agua. En otras palabras, para transmitir la misma cantidad de calor por unidad de tiempo y de área, desde la llama al agua, la temperatura de la pared es cada vez mayor, lo que finalmente deriva en la rotura o falla de los tubos.



## **D. GUÍA PARA EL DIAGNOSTICO DEL ESTADO TÉCNICO DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES.**

### **Introducción**

Debido a la incapacidad de que los equipos e instalaciones se mantengan en buen funcionamiento por sí mismos, debe organizarse un grupo de personas para que se encargue de y se constituya así una "organización de mantenimiento".

Una guía describe las normas, la organización y los procedimientos que se utilizan en una empresa para efectuar una determinada función. Dicha guía eleva el papel del mantenimiento a un lugar muy importante en las empresas siempre y cuando los procesos se encuentren ordenados y sean llevados a cabo de manera apropiada.

Por lo antes mencionado se elaboró una guía de procedimiento, para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares haciendo uso de técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo.

La guía estará a cargo del departamento de mantenimiento de igual manera los operadores de las calderas en algunos casos lo podrán realizar bajo la supervisión y asistencia del personal técnico de mantenimiento, por ser un conjunto de labores o actividades que se deberán llevar a cabo como está especificado en la guía.

Las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo permiten realizar inspecciones continuas es decir por un monitoreo constante, cuando se detecta algo anormal basado en sonidos, olores, presentación visual o el tacto (temperatura o deformaciones), así como por las visitas o revisiones aleatorias por el personal técnico de la organización, se tomaran decisiones pertinentes para evitar daños graves que afecten la producción.

Se describe paso a paso todas las técnicas a usar para llevar a cabo un buen diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares.



**Objetivos:**

- ✓ Proporcionar los pasos a seguir para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares.
  
- ✓ Minimizar los costos de mantenimiento.

**Alcance:**

Esta guía aplica para todas las empresas que posean dentro de su maquinaria calderas pirotubulares, se pretende que todos ellos se apropien de la misma.



## **CONTENIDO**

- 1. IMPORTANCIA.**
- 2. DEFINICIONES.**
- 3. INSTRUMENTOS A USAR.**
- 4. CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN MARCHA.**
- 5. TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN MARCHA.**
- 6. EJEMPLO DE LA INSPECCIÓN.**
- 7. CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN PARADA.**
- 8. TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN PARADA.**
- 9. EJEMPLO DE LA INSPECCIÓN.**
- 10. MODELO DE FICHA TÉCNICA.**



## **1. IMPORTANCIA.**

Se sabe que las condiciones en que se realizan algunas actividades repercuten profundamente en la eficiencia y rapidez del trabajo. Resulta importante que se adopte una actitud responsable hacia el trabajo y que se conozcan y respeten algunas reglas básicas para beneficio de los trabajadores como para la empresa.

Esta es una guía de procedimiento para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares, enfocados en las técnicas no destructivas del mantenimiento predictivo. La cual servirá de ayuda en los pasos a seguir en la inspección técnica de las calderas pirotubulares que trabajan en diferentes centros de producción y servicios.

Cada uno de los pasos y ensayos contemplados en dicha guía serán realizados en el orden que aparece.

Al terminar cada uno de dichos ensayos es necesario el análisis y discusión de los resultados de este, los cuales serán plasmados en el registro correspondiente.

Pero para que se cumpla todo lo anterior, son vitales los programas para capacitar a los trabajadores que harán uso de la guía.

## **2. DEFINICIONES:**

**Caldera:** Aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de energía térmica, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.



**Caldera Pirotubular:** Se denominan pirotubulares por ser los gases calientes procedentes de la combustión, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

**Mantenimiento:** Todas las acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

**Mantenimiento predictivo:** Es una serie de acciones que se realizan y las técnicas que se aplican para detectar fallos y defectos de la maquinaria en sus etapas incipientes, con la finalidad de conseguir evitar que dichos fallos se manifiesten.

**Monitoreo:** Es el seguimiento, vigilancia y control permanente a las actividades prevista en un plan, programa o proyecto desde las organizaciones establecidas dentro de una organización, empresa, etc.

**Seguimiento:** Observar atentamente el funcionamiento de determinada maquina (calderas), así como los historiales que posea la maquina (historiales de fallas, mediciones, etc.).

**Control:** Comprobar, inspeccionar, fiscalizar, intervenir.

**Vigilancia:** Medir las variables físicas que indique la existencia de un problema. Esto permitirá distinguir entre condición buena o mala para funcionar, de ser mala, indicar cuán mala es.

**Predicción de las fallas:** Esto nos permite evitar roturas, desperfectos de gran magnitud, o fallos desastrosos. Una máquina está protegida, cuando los valores que indican su condición alcanzan valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.



**Pronóstico:** En esta parte se estima la gravedad del problema y cuánto tiempo más podría funcionar la máquina sin riesgo de un fallo catastrófico, es decir estimar el tiempo de vida útil restante de la máquina.

**Ensayo no destructivo:** Es cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas.

### **3. INSTRUMENTOS A USAR.**

#### **Boroscopio:**

El boroscopio le permite inspeccionar el interior de máquinas e instalaciones. Es la herramienta ideal para el mantenimiento y la conservación. Gracias a la guía flexible, el peso escaso y la óptica excelente, con este boroscopio puede detectar de forma rápida y sencilla los puntos débiles y problemáticos y así tomar medidas preventivas sin tener que efectuar desmontajes costosos.

#### **Medidor de espesor:**

El medidor de espesores es el equipo idóneo para la comprobación de espesores de diferentes materiales, como pueden ser acero, aluminio, hierro, etc. Para garantizar una buena transmisión de las ondas ultrasónicas y por tanto una alta precisión del medidor de espesor entre la sonda y la pieza a examinar se aplica una pequeña cantidad de gel de acoplamiento, a continuación se ajusta la velocidad del sonido correspondiente y el aparato muestra el espesor del cuerpo.



**Tabla 5: Velocidades más comunes en el medidor de espesor**

Velocidades más comunes			
Material	Velocidad(m /s)	Material	Velocidad(m /s)
Aluminio	6320	Resina de acetato	2670
Zinc	4170	Bronce fosforoso	3530
Plata	3600	Trementina	4430
Oro	3240	Vidrio	5440
Estaño	3230	Aleación Incoloy	5720
Hierro/acero	5900	Magnesio	6310
Latón	4640	Aleación monel	6020
Cobre	4700	Níquel	5630
SUS	5790	Acero 4330 (suave)	5850
Resina acrílica	2730	Acero 330	5660
Agua (20 °C)	1480	Titanio	6070
Glicerina	1920	Circonio	4650
Vidrio soluble	2350	Nylon	2620

### El durómetro:

Un durómetro es un aparato especializado en la medición de la dureza de diferentes materiales utilizando varios procedimientos llamados ensayos.

**Tabla 6: Valores de rangos de dureza**

Valores de rangos de dureza según el tipo de material							
Material	HL	HRC	HRB	HB		HS	HV
				30D <sup>0</sup>	10 D <sup>0</sup>		
Acero inoxidable y fundición	300-900	20.0-68.0	38.4-99.5	80-647		32.5-99.5	80-940
Acero para trabajo en frío	300-840	20.4-67.1					80-898
Acero inoxidable	300-800	19.6-62.4	46.5-101.5	85-655			80-802
Hierro gris fundido	360-650			93-334			
Fundición nodular	400-660			131-387			



Fundición de aluminio	174-560				20-159		
Latón	200-550		13. 3-95.3		40-173		
Bronce	300-700				60-290		
Cobre	200-690				45-315		

1. Acero inoxidable y fundición
2. Acero para trabajo en frío
3. Acero inoxidable y Acero resistente a altas temperaturas.
4. Hierro fundido con grafito laminar (fundición gris GG).
5. Fundición de hierro con grafito esferoidal y nodular.
6. Fundición de aleaciones de aluminio (metal).
7. Aleaciones-alu/copper-tincobre (bronce).
8. Aleaciones de cobre tim.

### **Estetoscopio**

Es un dispositivo de audición de alta sensibilidad, utilizado para localizar fuentes de ruido en todo tipo de maquinaria. Tiene un amplificador con control de volumen. La búsqueda de estos ruidos se realiza mediante una probeta metálica que se coloca sobre la superficie de la máquina y se escucha por medio de sus sensibles audífonos.



#### 4. CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN MARCHA.

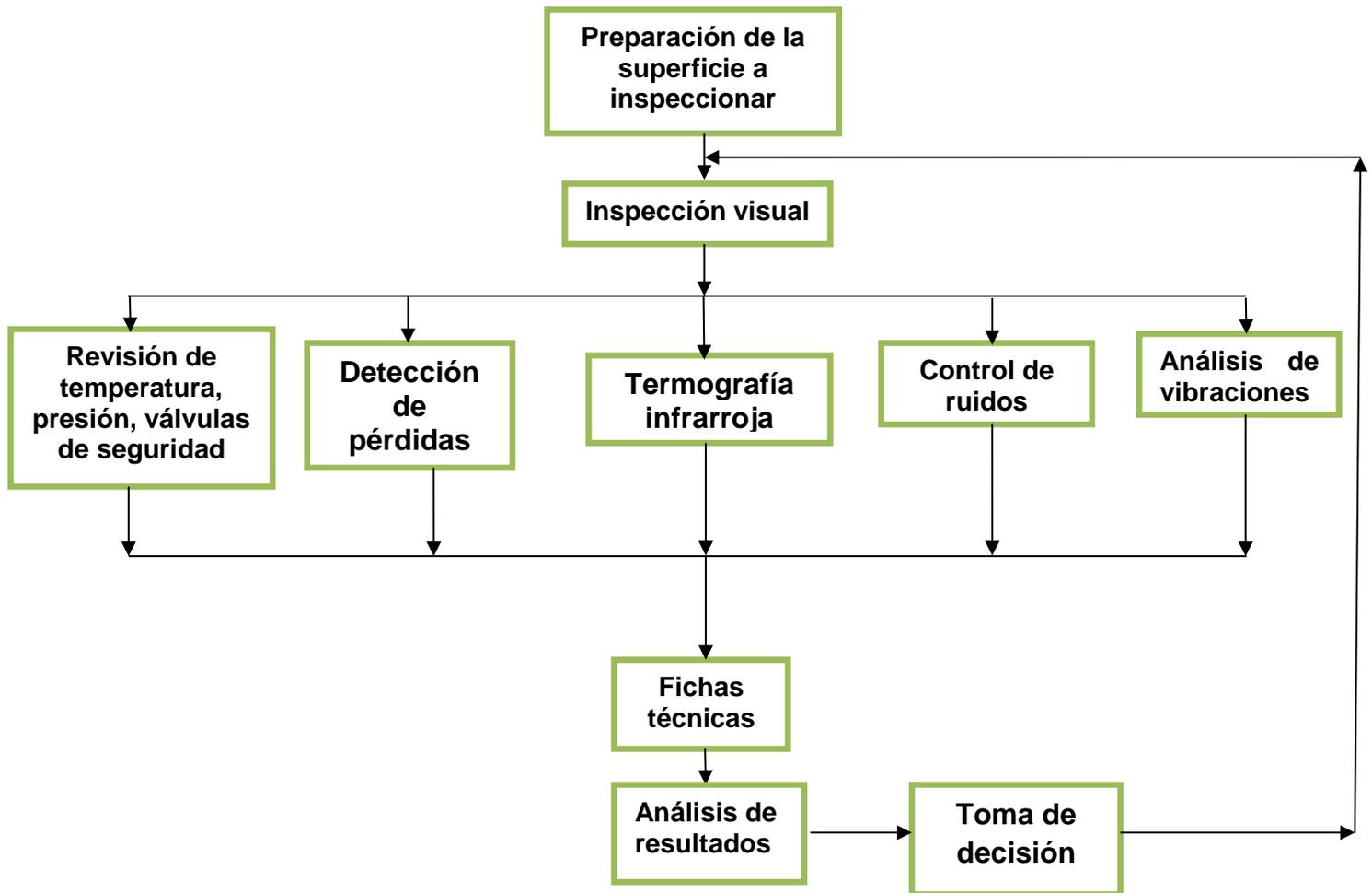


Ilustración 16: Cronograma de las actividades de técnicas de control que se utilizan cuando el equipo está en marcha.



## **5. TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN MARCHA.**

### **Preparación de la superficie a inspeccionar.**

La preparación de la superficie consiste en limpiar las uniones (Soldadas) y sectores adyacentes de impurezas y suciedades como óxidos, escoria, grasas etc. Esta preparación se realizará mediante disco abrasivo hasta alcanzar una rugosidad superficial de 40 Rz tratando de que la superficie se mantenga lo más pareja posible hasta lograr el brillo metálico.

Una vez concluida la limpieza del área a inspeccionar se aplicará grasa en esta con el fin de protegerla.

### **Inspección visual**

Las inspecciones visuales consisten en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas, fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión.

La inspección visual será referida al examen completo y determinado de todas las secciones de la caldera.

Se deberá realizar la inspección de todo el exterior de las calderas, utilizando el tacto se puede encontrar

- Grietas de todos los tipos y en cualquier dirección.
- Quemaduras.
- Porosidad.



El movimiento entre componentes puede detectarse acústicamente y las juntas con holgura responden al golpeteo con un sonido apagado y muy amortiguado.

Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgaste, soltura de elementos de fijación, cambios de color, etc. Se aplica a zonas que se pueden observar directamente y, cada vez más, se diseñan las máquinas para poder observar partes inaccesibles sin necesidad de desmontar.

### **Revisión de temperatura, presión, válvulas de seguridad**

Los sensores de temperatura son los termómetros, termopares, termistores, pinturas, polvos térmicos y cámaras de infrarrojos. Dos ejemplos donde el monitoreo de temperatura nos alerta de problemas mecánicos son la temperatura del lubricante de salida y la temperatura del agua de la caldera.

Se suele utilizar la presión del proceso para aportar información útil ante defectos como la cavitación, condensación de vapores o existencia de golpes de ariete. En otros casos es la presión de lubricación para detectar deficiencias o problemas en los cierres por una presión insuficiente o poco estable.

Se debe realizar inspección en los manómetros.

Revisar todas las válvulas de seguridad.

### **Detección de pérdidas**

Se dispone de varias técnicas para la detección de fugas que incluyen los métodos de agua jabonosa. El uso de preparados específicos puede hacer el método más efectivo, capaz de detectar pérdidas muy pequeñas.



### **Termografía Infrarroja.**

La termografía es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas.

### **Control de ruidos**

La detección de sonidos espaciales, como los generados por las fugas, el control de ruidos se puede aplicar de la misma forma que la monitorización de vibraciones. También se pueden usar estetoscopios para localizar ruidos e irregularidades acústicas.

### **Análisis de vibraciones**

Existen dos técnicas de análisis de vibraciones diferentes:

- Medición de la amplitud de la vibración: Da un valor global del desplazamiento o velocidad de la vibración. Cuando la vibración sobrepasa el valor preestablecido, el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica donde está el problema.
- Analizador del espectro de vibración: La vibración se descompone según su frecuencia. Analizando el nivel de vibración en cada una de las frecuencias se puede determinar la causa de la anomalía.

### **La ficha técnica que se deberá llenar**

Una ficha técnica es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada. Los contenidos varían dependiendo del producto, servicio o



entidad descrita, pero en general suele contener datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas.

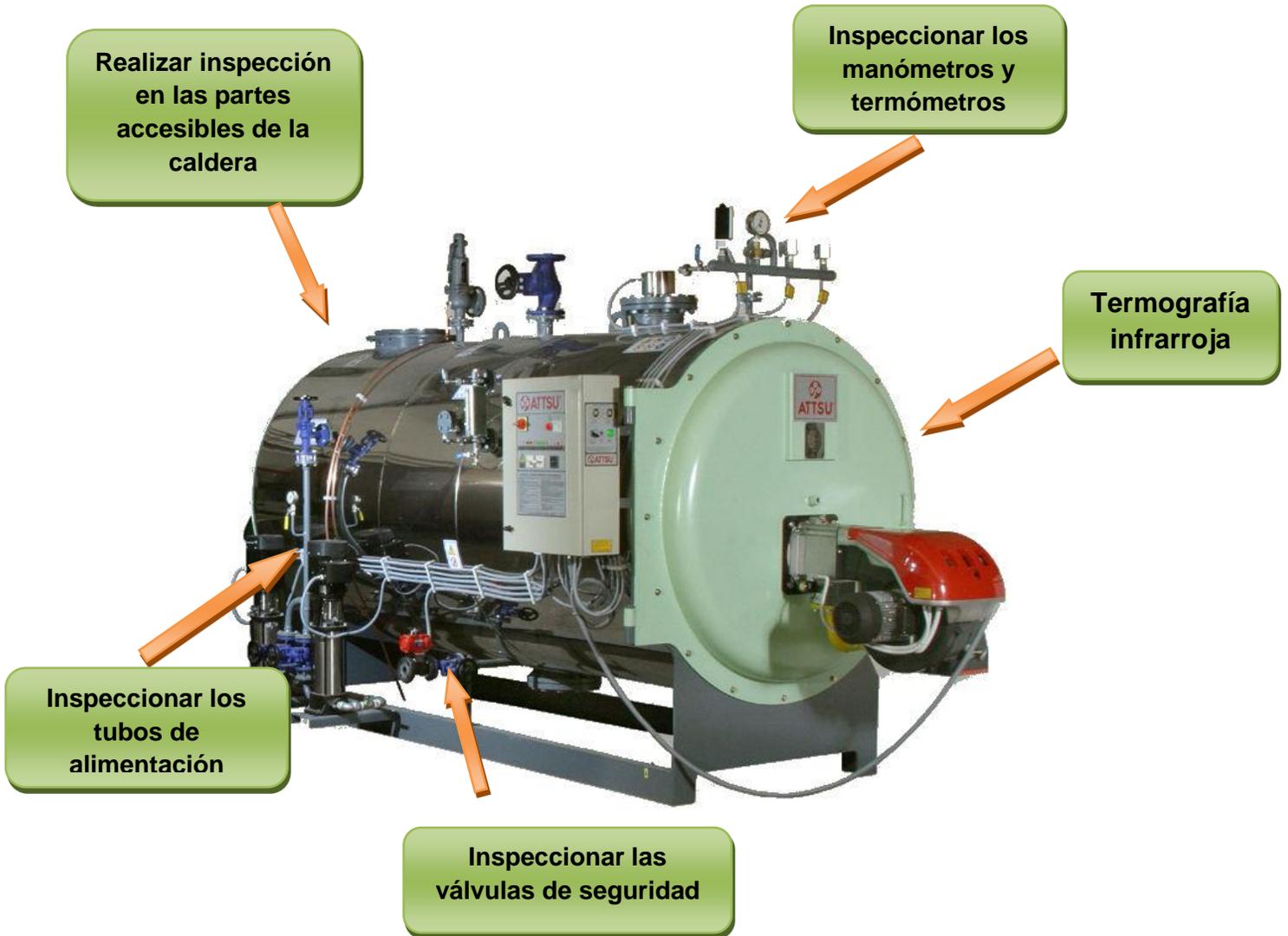
### **Análisis de resultados**

Después de realizados cada uno de los ensayos se debe realizar el análisis de los resultados encontrados. A continuación se brindan algunas recomendaciones básicas importantes para la predicción de fallas:

-Procedimientos adecuados de arranque y parada de las calderas esto asegurarán que no se sobrecarguen, generando sobrecalentamientos, ni que ingrese al sistema aire atmosférico que pueda acelerar los procesos de corrosión u oxidación.



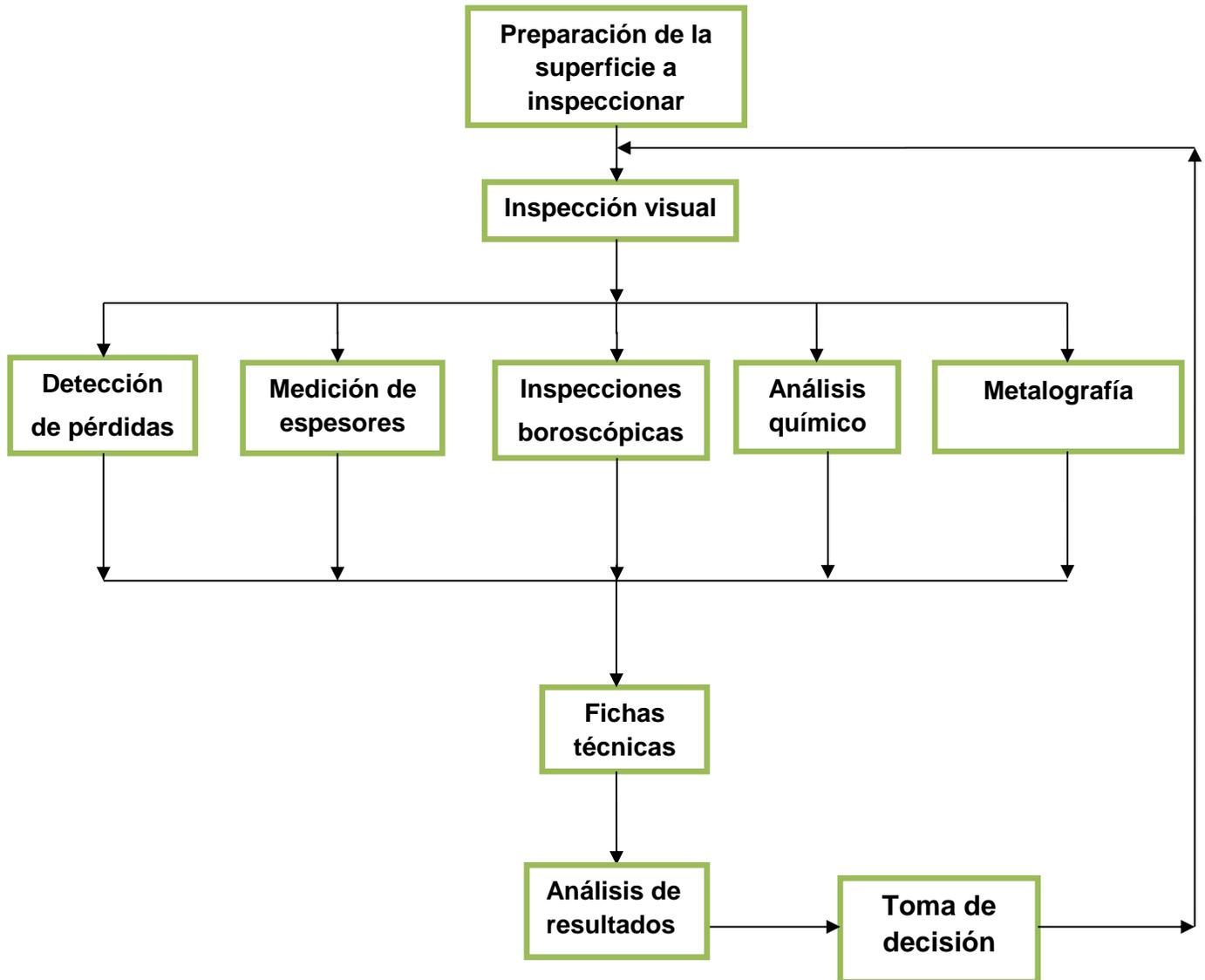
## 6. EJEMPLO DE LA INSPECCIÓN



*Ilustración 17: Ejemplo de la inspección*



## 7. CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES DE TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN PARADA.



*Ilustración 18: Cronograma de las actividades de técnicas de control que se utilizan cuando el equipo está en parada.*



## **8. TÉCNICAS DE CONTROL QUE SE UTILIZAN CUANDO EL EQUIPO ESTÁ EN PARADA.**

### **Preparación de la superficie a inspeccionar.**

La preparación de la superficie consiste en limpiar las uniones (Soldadas) y sectores adyacentes de impurezas y suciedades como óxidos, escoria, grasas etc. Esta preparación se realizará mediante disco abrasivo hasta alcanzar una rugosidad superficial de 40 Rz tratando de que la superficie se mantenga lo más pareja posible hasta lograr el brillo metálico.

Una vez concluida la limpieza del área a inspeccionar se aplicará grasa en esta con el fin de protegerla.

### **Inspección visual**

Las inspecciones visuales consisten en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas, fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión.

La inspección visual será referida al examen completo y determinado de todas las secciones de la caldera, realizándose la misma en el interior de la caldera si este tiene tamaño suficiente.

Se deberá realizar la inspección de todo el exterior de las calderas, utilizando el tacto se puede encontrar

- Grietas de todos los tipos y en cualquier dirección.
- Quemaduras.
- Porosidad.



El movimiento entre componentes puede detectarse acústicamente y las juntas con holgura responden al golpeteo con un sonido apagado y muy amortiguado.

Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgaste, soltura de elementos de fijación, cambios de color, etc. Se aplica a zonas que se pueden observar directamente y, cada vez más, se diseñan las máquinas para poder observar partes inaccesibles sin necesidad de desmontar.

### **Detección de pérdidas**

Se dispone de varias técnicas para la detección de fugas que incluyen los métodos de agua jabonosa. El uso de preparados específicos puede hacer el método más efectivo, capaz de detectar pérdidas muy pequeñas.

### **Medición de espesores**

Para realizar una valoración y toma de decisiones es necesario comprobar el espesor de la caldera que se controla, para conocer si está o no en el rango de trabajo se realiza esta medición por un método no destructivo, es decir mediante un medidor ultrasónico y conocidos los valores se realizarán los cálculos de espesores mínimos.

### **Inspecciones boroscópicas**

Estas son inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico. El boroscopio, es un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un sistema telescópico con numerosas lentes, que aportan una gran definición a la imagen. Además, está equipado con una poderosa fuente de luz. La imagen resultante puede verse en la lente principal del aparato, en un monitor, o ser registrada en un videograbador o una impresora para su análisis posterior.



Los defectos que se pueden identificar en las inspecciones boroscópicas son, entre otras:

- Erosión.
- Corrosión.
- Pérdida de material cerámico en álabes o en placas aislantes.
- Roces entre álabes fijos y móviles.
- Decoloraciones en álabes del compresor, por alta temperatura.
- Pérdidas de material de los álabes del compresor que se depositan en los álabes de turbina o en la cámara.
- Deformaciones.
- Piezas sueltas o mal fijadas, sobre todo de material aislante.
- Fracturas y agrietamiento en álabes, sobre todo en la parte inferior que los fija al rotor.
- Marcas de sobre temperatura en álabes.
- Obstrucción de orificios de refrigeración.
- Daños por impactos provocados por objetos.

### **Metalografía**

La metalografía constituye una herramienta muy poderosa para la investigación metalográfica, nos permite evaluar el estado de degradación estructural a que está sometida una instalación.

Este método de análisis nos permite seguir los cambios estructurales que sufre un determinado elemento crítico de un recipiente a presión, sin tener que cortar una muestra, o sea, permite conocer y estudiar la microestructura de un objeto a pie de obra. Este ensayo debe dirigirse a los lugares de mayores posibilidades de rotura y a los sitios donde hay cambios frecuentes de temperatura, los cuales son los puntos de mayor posibilidad de degradación de la estructura.

Cuando por la estructura observada existan dudas del tipo de material que se está estudiando y no se cuenta con la composición química del elemento de la caldera,



es necesario realizar el análisis químico por el método de estiloscopía u otro método que nos permita el esclarecimiento de la naturaleza del mismo.

### **La ficha técnica que se deberá llenar**

Una ficha técnica es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada. Los contenidos varían dependiendo del producto, servicio o entidad descrita, pero en general suele contener datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas.

### **Análisis de resultados**

Después de realizados cada uno de los ensayos se debe realizar el análisis de los resultados encontrados. A continuación se brindan algunas recomendaciones básicas importantes para prevenir evitar fallas:

-Se debe analizar los materiales empleados en la construcción de las calderas, pues existen las normas que fijan un valor máximo de dureza, lo cual es importante respetar para prevenir todas las formas de corrosión por agrietamiento, corrosión por esfuerzo y la corrosión por fatiga.

-Durante las reparaciones por soldadura, hay que asegurarse que las juntas y las zonas afectadas por el calor, tengan un rango de dureza que no sobrepasen los límites de las normas respectivas.

-Limpiezas periódicas de las tuberías (químicas y mecánicas), evitarán la formación de depósitos y/o capas oxidadas gruesas, minimizando así la ocurrencia de sobrecalentamientos.

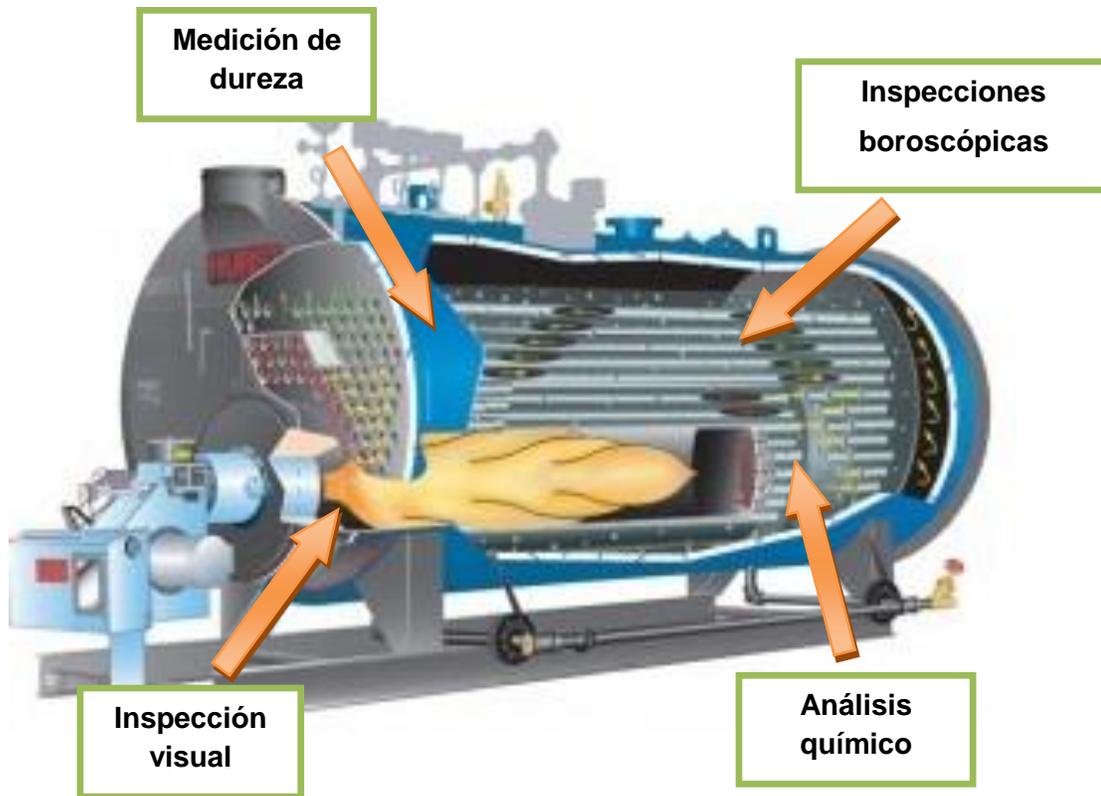


-Un tratamiento adecuado del agua de alimentación y del combustible, con buen control de la cantidad de aire de combustión, minimizarán las ratas de corrosión u oxidación tanto en el lado de fuegos como de aguas, así mismo se minimizarán fenómenos como la erosión, la formación de depósitos y los agrietamientos.

-El tiempo de vida de una caldera está condicionado por la corrosión u oxidación, ya que este modo de falla siempre estará presente. Lo que se debe asegurar es que la pérdida de espesor y la formación de capas de productos de dichas fallas no sean elevadas.



## 9. EJEMPLO DE LA INSPECCIÓN



*Ilustración 19: Ejemplo de inspección*



## 10. MODELO DE FICHA TÉCNICA.

*Tabla 7: Modelo de ficha*

Registro de inspecciones						
Planta:		No. de registro:		Descripción de la caldera:		
Fecha de instalación:		Fabricante:				
Fecha de inspección	Tipo de inspección					Comentarios
	En marcha		En parada			
	Visual	Local E.N.D	Visual	Local E.N.D	General E.N.D	

**E.N.D: Ensayo no destructivo.**



## **X. CONCLUSIÓN**

- 1) Se encontró que las calderas pirotubulares se diferencian por ser una maquina generadora de vapor, donde los gases de combustión circulan por el interior de los tubos según sus etapas. Estas se clasifican según su posición y sus etapas, entre las más conocidas. Las calderas pueden trabajar con combustibles como carbón, gases, petróleo, y combustibles de biomasa. En lo que respecta al funcionamiento de este tipo de caldera, el humo caliente procedente del hogar circular por el interior de los tubos, cambiando de sentido en su trayectoria, el calor liberado en el proceso de combustión es transferido a través de las paredes de los tubos al agua que los rodea, quedando todo el conjunto encerrado dentro de una carcasa convenientemente calorifugada, hasta salir por la chimenea.
  
- 2) El mantenimiento predictivo se basa en predecir los fallos antes de que se presenten, con el monitoreo de la condición de una máquina, el cual busca en base a cuatro elementos como son la vigilancia, la protección, el diagnóstico y el pronóstico, predecir dichas falla. La utilización de técnicas no destructivas de Mantenimiento predictivo, contempla tomar en cuenta medidas dirigidas a disminuir incidencias de fallas desde el punto de vista técnico (mayor frecuencia), productivo (calidad y productividad) y económico (incurren en costos considerables).



**3) Fueron identificadas las más comunes:**

- Erosión.
- Agrietamiento.
- Depósitos.
- Incrustaciones.
- Fallas en el arranque.
- Fallas en los materiales.
- Impurezas en el agua
- Entre otras.

**4) Se elaboró una guía de procedimiento para el diagnóstico del estado técnico de las calderas pirotubulares. El cual brinda las técnicas no destructivas que se deben usar según las fallas más comunes en las calderas con el fin de predecir las fallas antes de que ocurran. Contiene los modelos de fichas técnicas que se deben llenar para llevar el historial de cada inspección.**



## **XI. RECOMENDACIONES**

- Las empresas capaciten a los operadores de calderas para que posean conocimientos acerca de las calderas pirotubulares
- Hacer uso de los instrumentos recomendados para detectar fallas, de esta manera se evitan fallas que afecten la vida útil de las calderas y la producción en general.
- Las empresas capaciten a los operadores acerca de las fallas que una caldera puede presentar para tener un mejor desempeño en el momento de realizar las inspecciones.
- Las empresas adquieran el manual para que tengan una buena planificación y buen control en el mantenimiento de las calderas pirotubulares. Darle seguimiento al manual de acuerdo al avance de la tecnología.



---

## XII. BIBLIOGRAFIA

Barreto, W. (2005). Calderas de vapor.

Botero. (1991). *Manual de mantenimiento* . Bogota: publicaciones SENA.  
(2002). *Calderas*.

Duffuaa, Raouf, & Dixon. (2007). *Sistema de mantenimiento planeacion y control*.Mexico: LIMUSA,S.A.

Tanner, D. E. (2001). National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors .

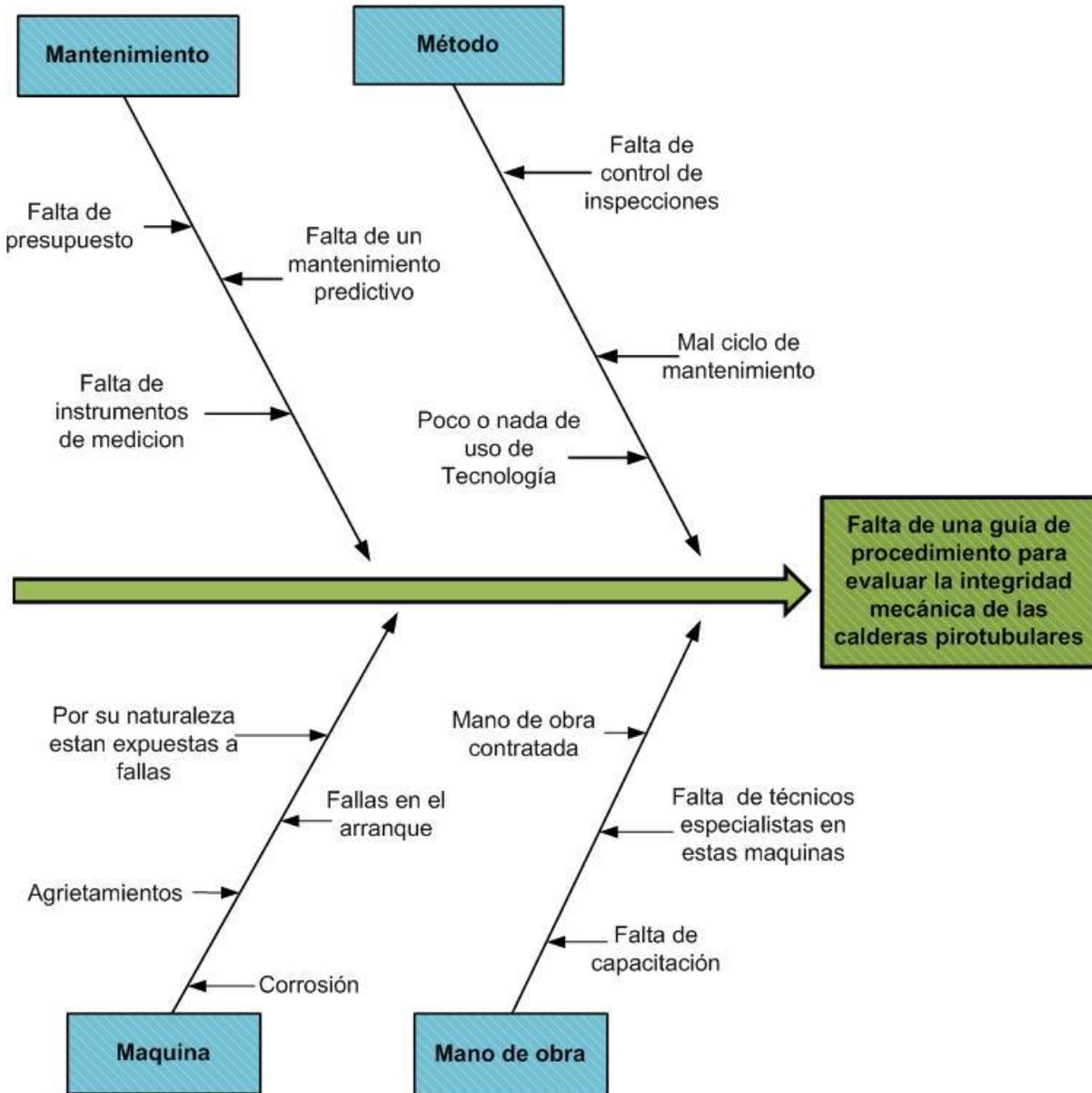


### XIII. ANEXOS

# Anexos

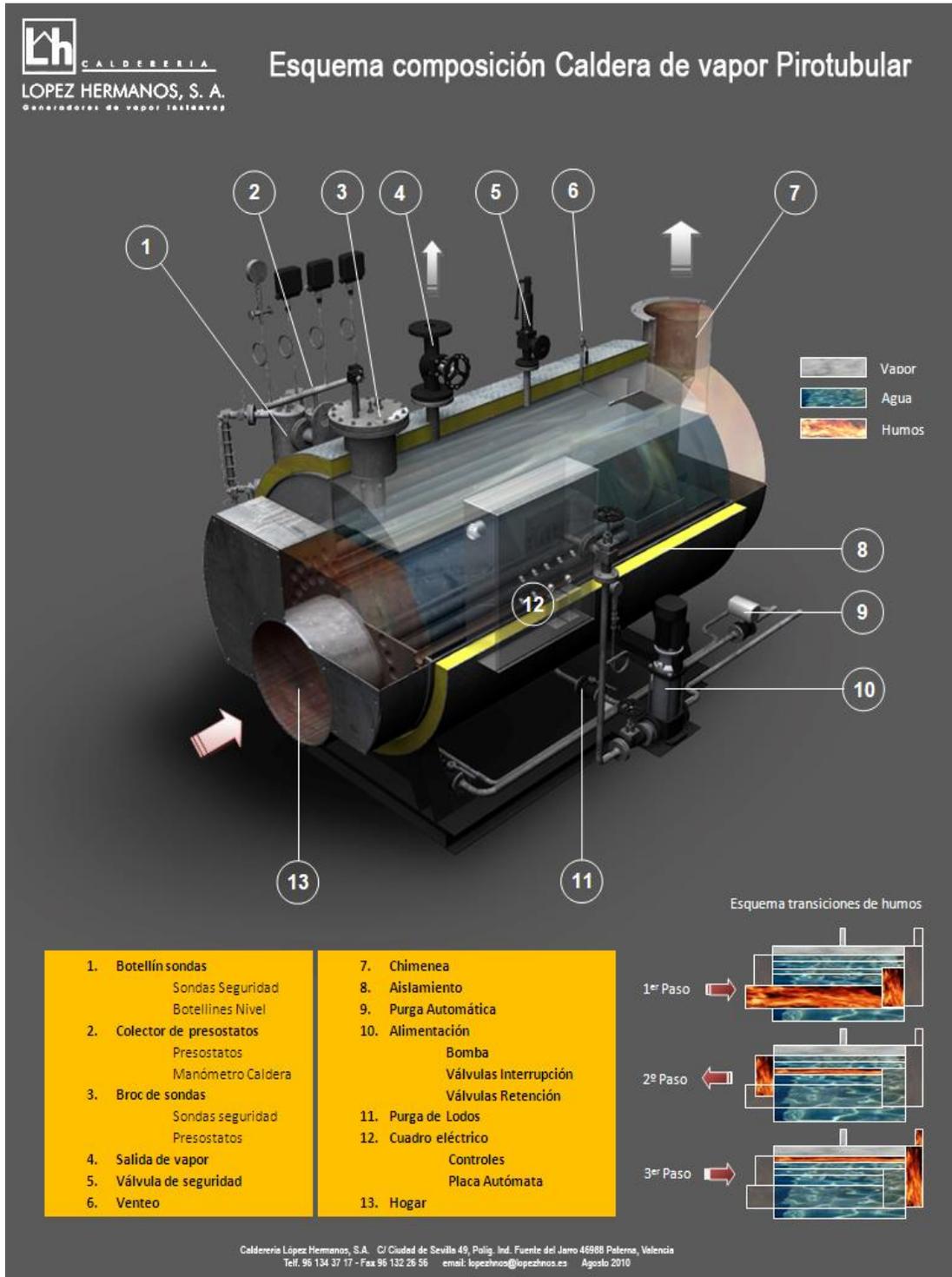


ANEXO I: DIAGRAMA CAUSA Y EFECTO

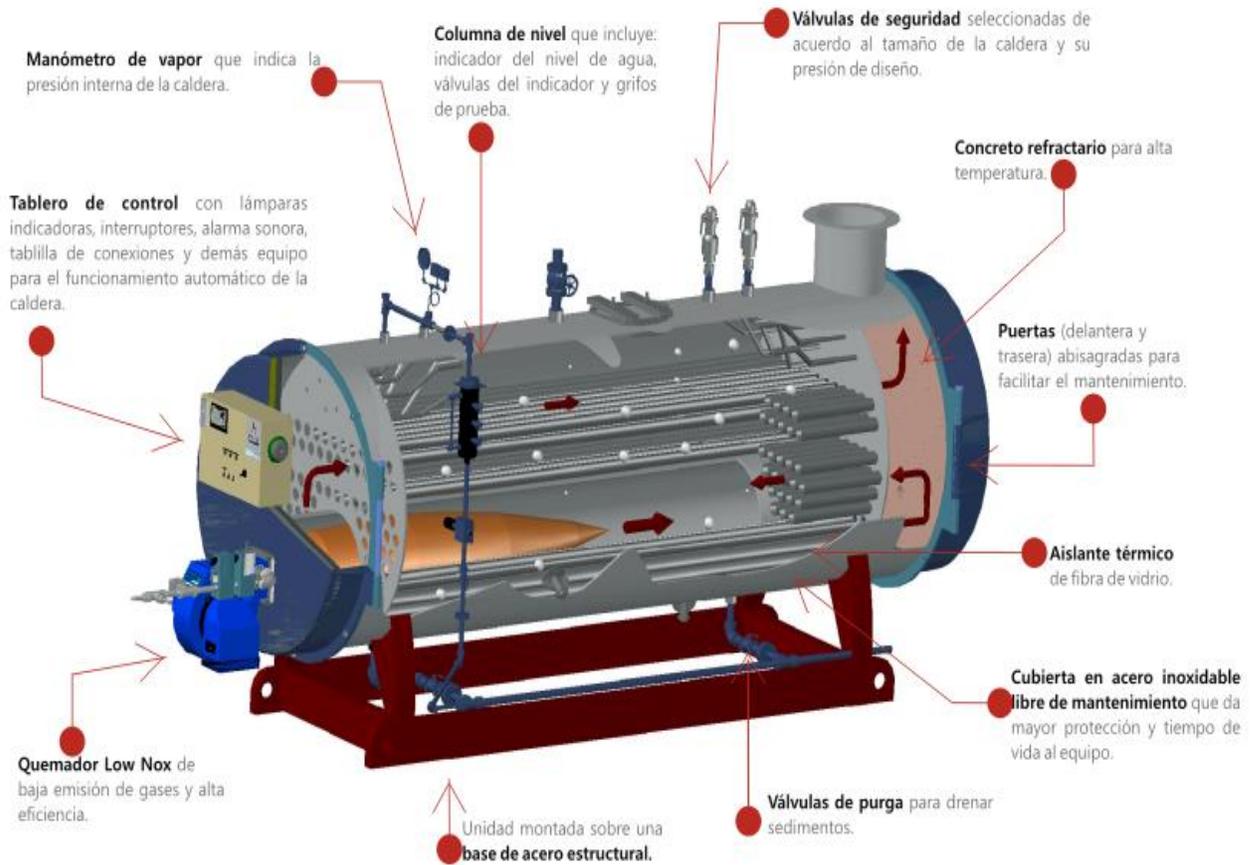




## ANEXO II: CALDERAS PIROTUBULARES



# Propuesta de una guía de procedimiento para evaluar la integridad mecánica de las calderas pirrotubulares en las empresas Nicaragüenses.





### ANEXOS III: INSTRUMENTOS QUE SE UTILIZAN EN LAS INSPECCIONES

#### ➤ Boroscopios



Video boroscopio con cámara 17mm LCD 3,2''



Boroscopio USB.



Boroscopio inalámbrico con pantalla LCD PCE-VE 500



➤ **Medidor de espesor**



**Medidores de espesores ultrasónicos**



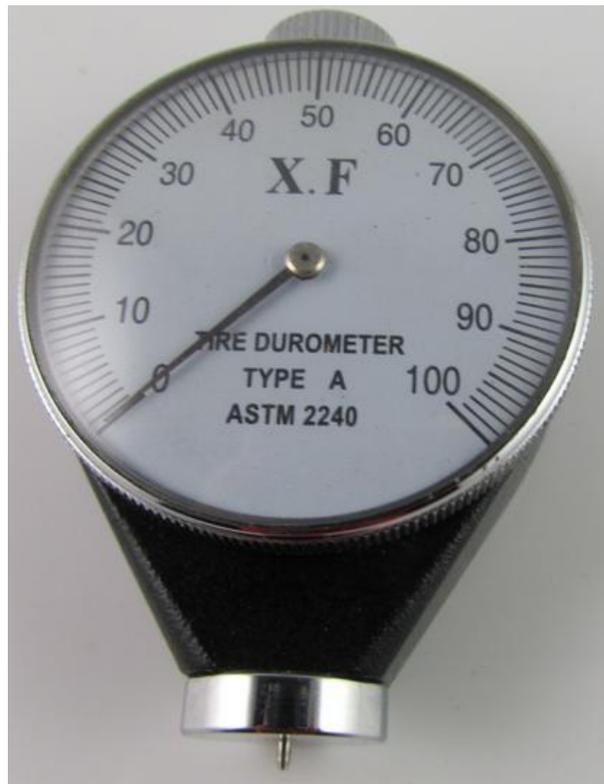
**Medidor de espesor analógico**



➤ Durómetro



Durómetro digital



Durómetro analógico



➤ Cámaras termográficas





➤ Estetoscopio





#### ANEXOS IV: EJEMPLO DE FALLAS EN LAS CALDERAS



**Corrosión en el interior de las calderas por oxígeno y en el exterior de las calderas**



**Incrustaciones en los tubos de humo y en el cuerpo de la caldera**



**Erosión por chorro de agua**



**Erosión por chorro de vapor**



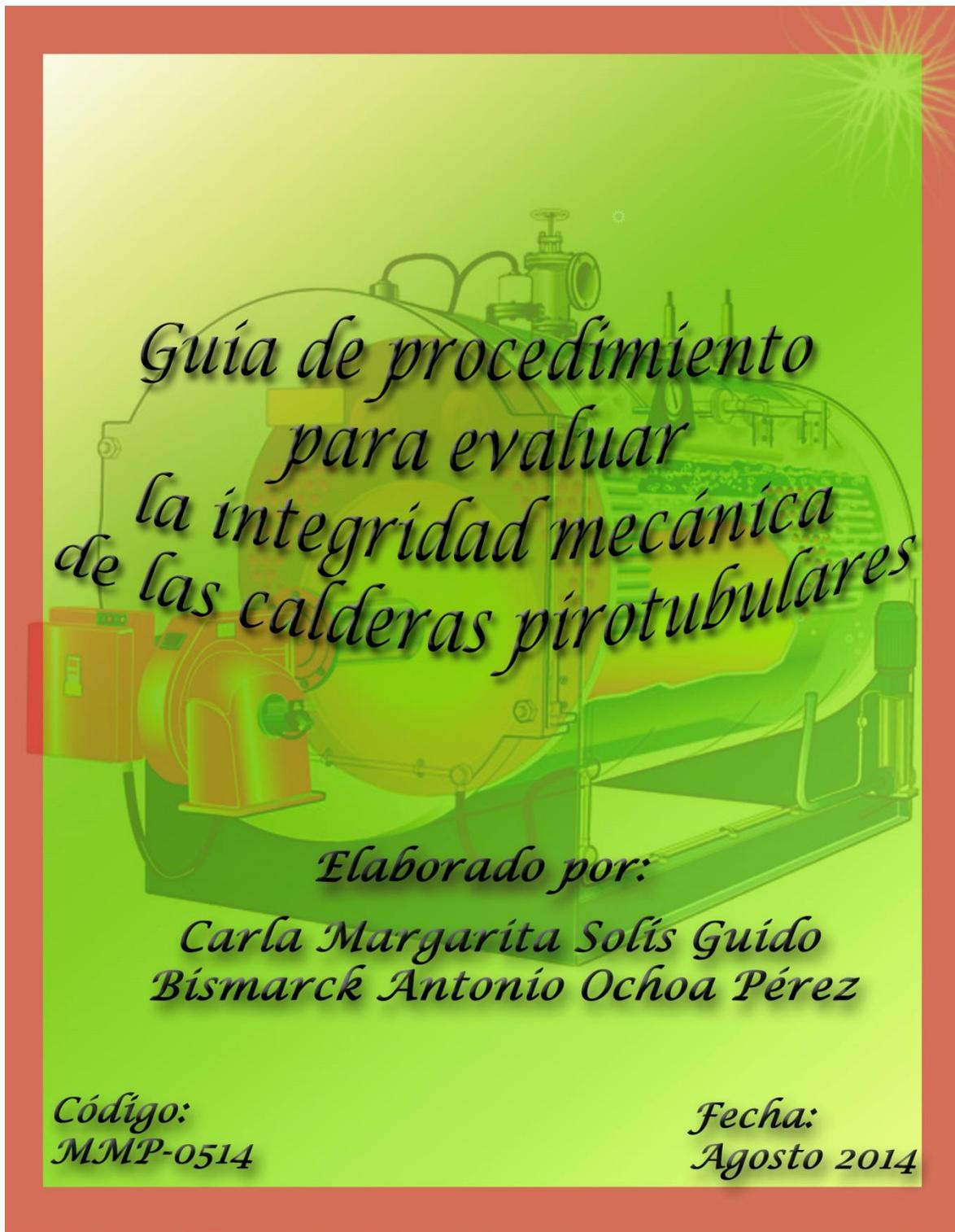
**Depósitos estratificados de diferentes compuestos**



**Depósitos de un solo compuesto**



ANEXOS V: PORTADA DEL MANUAL



*Guía de procedimiento  
para evaluar  
la integridad mecánica  
de las calderas pirotubulares*

*Elaborado por:*

*Carla Margarita Solís Guido  
Bismarck Antonio Ochoa Pérez*

*Código:  
MMP-0514*

*Fecha:  
Agosto 2014*