



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO
PIROTUBULAR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.”**

GARCÍA MORA FÉLIX ANTONIO

REDROBÁN QUIRÓZ CRISTIAN EDUARDO

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-02-25

Yo recomiendo que la Tesis preparado por:

FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA

Titulada:

**“PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO PIROTUBULAR DE LA FACULTAD
DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Fernando González
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Fiallos
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GARCÍA MORA FÉLIX ANTONIO

TÍTULO DE LA TESIS: “PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO PIROTUBULAR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de examinación: 2015-03-02

RESULTADOS DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Fiallos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-02-25

Yo recomiendo que la Tesis preparado por:

CRISTIAN EDUARDO REDROBÁN QUIRÓZ

Titulada:

**“PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO PIROTUBULAR DE LA FACULTAD
DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Fernando González
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Fiallos
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: REDROBÁN QUIRÓZ CRISTIAN EDUARDO

TÍTULO DE LA TESIS: “PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL CALDERO PIROTUBULAR DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de examinación: 2015-03-02

RESULTADOS DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Fernando González DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Fiallos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El presente trabajo de titulación que presentamos, es de nuestra autoría y está basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por lo tanto, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Félix Antonio García Mora

Cristian Eduardo Redrobán Quiróz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Félix y Consuelo por ser las personas que me impulsaron a seguir adelante ya que supieron motivarme para conseguir este reto, a mi hermano Luis por su ayuda y apoyo incondicional.

A mi familia política en especial a mami Noris y a mami Gladys que han sido un apoyo incondicional en momentos difíciles.

A mi esposa Adriana y a mis hijas Arely y Mía por ser el motor que me impulsa cada día a ser una mejor persona y un profesional con ética y responsabilidad.

A mi familia por su constante preocupación y atención del avance de mi carrera, a mis amigos y compañeros que de una u otra manera me ayudaron en momentos difíciles.

A todas las personas que colaboraron y contribuyeron en la realización de éste proyecto.

A los docentes de la carrera, por todos los conocimientos impartidos durante mis estudios.

Félix Antonio García Mora

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicada para todos mis familiares que confiaron y siempre estuvieron ahí apoyándome y brindándome sus palabras de aliento.

Especialmente a mis padres, que con su ejemplo de lucha, sacrificio y constancia me han incentivado para poder conseguir una profesión, haciendo hasta lo imposible por brindarme todo lo que he necesitado.

A mi esposa por ser un pilar fundamental para conseguir una de mis metas.

Al amor de mi vida que es mi hijita Kristel, ya que es la inspiración y motivación para seguir adelante y por la que lucho día tras día.

A mis hermanos y hermana que con sus consejos y palabras de aliento siempre estuvieron ahí pendientes de que me supere y logre una de mis metas.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y amigos que han estado ahí siempre en mi vida estudiantil.

Cristian Eduardo Redrobán Quiróz

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente queremos agradecerle a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hizo realidad este sueño.

A cada una de nuestras familias por el apoyo brindado para culminar nuestra profesión.

A la ESPOCH, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A nuestro director de tesis, Ing. Fernando González por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que podamos culminar nuestros estudios con éxito.

También un agradecimiento a nuestros profesores que estuvieron durante toda nuestra carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a nuestra formación, y en especial al Ing. Pablo Fiallos por sus consejos, sus enseñanzas y más que todo por su amistad.

De igual manera agradecer al Decano de la Facultad, Ing. Marco Santillán por creer en nosotros, por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudaron a formarnos como profesionales.

Félix y Cristian

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Proceso termodinámico.....	3
2.1.1 <i>Estados de la materia</i>	3
2.1.2 <i>Energía</i>	3
2.1.3 <i>Termodinámica</i>	4
2.1.4 <i>Cambios de estado de la materia</i>	4
2.1.5 <i>Temperatura</i>	4
2.1.6 <i>El calor</i>	4
2.1.7 <i>Cantidad de calor</i>	5
2.1.8 <i>Calor específico</i>	5
2.1.9 <i>Calor sensible</i>	5
2.1.10 <i>Calor latente</i>	5
2.1.11 <i>Calor latente de fusión</i>	5
2.1.12 <i>Métodos de transferencia de calor</i>	6
2.1.13 <i>El vapor</i>	8
2.1.14 <i>Tipos de vapor generados sin presión</i>	8
2.1.15 <i>Punto de ebullición.</i>	8
2.2 Combustión.....	8

2.2.1	<i>Elementos de la combustión</i>	9
2.2.2	<i>Combustión estequiométrica o teórica</i>	9
2.2.3	<i>Combustión con exceso de aire</i>	10
2.2.4	<i>Combustibles</i>	10
2.2.5	<i>Propiedades de los combustibles</i>	11
2.2.6	<i>Temperatura de llama adiabática</i>	13
2.2.7	<i>Eficiencia de la combustión</i>	13
2.2.8	<i>La importancia del exceso de aire</i>	13
2.2.9	<i>Pérdidas por combustible no quemado</i>	14
2.3	<i>Tipos de calderos</i>	14
2.3.1	<i>Caldero</i>	14
2.3.2	<i>Tipos de calderos</i>	14
2.3.3	<i>Caldero pirotubular de hogar interior</i>	15
2.4	<i>Partes de los calderos pirotubulares</i>	16
2.4.1	<i>Cuerpo del caldero pirotubular</i>	16
2.4.2	<i>Quemador</i>	17
2.4.3	<i>Accesorios de control</i>	19
2.4.4	<i>Accesorios de seguridad</i>	20
2.4.5	<i>Equipos auxiliares</i>	20
2.5	<i>Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)</i>	21
2.5.1	<i>Definición de RCM</i>	21
2.5.2	<i>El contexto operacional</i>	23
2.5.3	<i>Beneficios del RCM</i>	23
2.6	<i>Confiabilidad</i>	23
2.7	<i>Normas utilizadas en el proyecto</i>	24
2.8	<i>Mantenimiento de las obras civiles</i>	25
2.8.1	<i>Rehabilitación de las obras civiles</i>	27

3.	ANÁLISIS DEL ESTADO TÉCNICO INICIAL DEL CALDERO	
3.1	Elaboración del formato del estado técnico de situación inicial	28
3.1.1	<i>Primera parte del formato: “Estado técnico”:</i>	28
3.1.2	<i>Segunda parte del formato: “Planes de acción”</i>	30
3.2	Análisis de funcionamiento de los elementos mecánicos	31
3.3	Análisis de funcionamiento de elementos de control	32
3.4	Análisis de funcionamiento de los elementos de seguridad.....	32
3.5	Análisis de los sistemas auxiliares.....	33
3.5.1	<i>Sistema de suministro de agua</i>	33
3.5.2	<i>Sistema de suministro de combustible</i>	33
3.5.3	<i>Sistema de ablandamiento de agua</i>	34
3.5.4	<i>Sistema de condensado</i>	34
3.5.5	<i>Sistema de tratamiento químico</i>	35
3.5.6	<i>Sistema distribuidor de vapor</i>	35
3.5.7	<i>Análisis de funcionamiento del quemador</i>	36
3.5.8	<i>Análisis del estado de la obra civil</i>	36
4.	MANTENIMIENTO Y PUESTA EN MARCHA	
4.1	Mantenimiento de elementos mecánicos.....	37
4.1.1	<i>Mantenimiento de tuberías de fuego</i>	37
4.1.2	<i>Mantenimiento de tuberías de agua de suministro</i>	38
4.1.3	<i>Mantenimiento de tuberías de condensado</i>	38
4.1.4	<i>Mantenimiento tuberías de vapor</i>	39
4.1.5	<i>Mantenimiento de la carcasa del caldero</i>	39
4.1.6	<i>Cambio de accesorios</i>	40
4.1.7	<i>Cambio de boquilla de combustible</i>	40
4.1.8	<i>Calibración de electrodos</i>	40
4.1.9	<i>Mantenimiento de chimenea</i>	41

4.1.10	<i>Limpieza de visores</i>	42
4.2	Mantenimiento de elementos de control	42
4.2.1	<i>Mantenimiento de presuretroles</i>	42
4.2.2	<i>Mantenimiento de McDonell</i>	43
4.2.3	Mantenimiento de presostato	43
4.2.4	<i>Mantenimiento de controlador</i>	44
4.2.5	<i>Mantenimiento de tablero de control</i>	44
4.2.6	<i>Cambio de termómetro</i>	45
4.3	Mantenimiento de elementos de seguridad	45
4.3.1	<i>Mantenimiento de válvulas de seguridad</i>	45
4.3.2	<i>Colocación del “paro de emergencia”</i>	46
4.4	Mantenimiento de sistemas auxiliares	46
4.4.1	<i>Mantenimiento del sistema de ingreso de agua</i>	46
4.4.2	<i>Mantenimiento del suministro de combustible</i>	47
4.4.3	<i>Mantenimiento del ablandador de agua</i>	47
4.4.4	<i>Mantenimiento del distribuidor de vapor</i>	48
4.4.5	<i>Mantenimiento del sistema de condensado</i>	49
4.4.6	<i>Mantenimiento del sistema de tratamiento químico</i>	49
4.5	Mantenimiento de obra civil.....	50
4.5.1	<i>Piso</i>	50
4.5.2	<i>Ventanas</i>	50
4.5.3	<i>Puerta</i>	51
4.5.4	<i>Techado</i>	51
4.5.5	<i>Sistema eléctrico</i>	52
4.5.6	<i>Cisterna</i>	52
4.5.7	<i>Paredes</i>	53
4.5.8	<i>Cubiertas</i>	53
4.6	Puesta en marcha del caldero.	54

4.6.1	<i>Pasos para el arranque y apagado del caldero</i>	54
4.7	Análisis predictivo	55
4.7.1	<i>Análisis termográfico</i>	55
4.7.2	<i>Análisis de ultrasonido</i>	55
5.	PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO	
5.1	Codificación de ubicación.....	56
5.2	Análisis de criticidad	58
5.2.1	<i>Valores de criticidad</i>	59
5.2.2	<i>Símbolo de criticidad</i>	59
5.2.3	<i>Flujograma de evaluación de criticidad</i>	60
5.2.4	<i>Análisis de criticidad</i>	60
5.3	Análisis AMEF	62
5.4	Resultados del análisis AMEF	68
5.5	Procedimientos de mantenimiento.....	68
5.6	Plan maestro anual de mantenimiento	74
5.7	Bitácora de mantenimiento.....	76
5.8	Orden de trabajo.....	77
5.9	Elaboración de un manual de seguridad.	78
5.10	Elaboración de guías de laboratorio	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	79
6.2	Recomendaciones.....	79

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Clasificación de combustibles industriales.....	10
2 Tipos de calderos	14
3 Tabla de ponderación cuantitativa.	29
4 Tabla de ponderación cualitativa.....	30
5 Codificación de ubicación.....	57
6 Codificación de activos del laboratorio de vapor	57
7 Criticidad	58
8 Valores de criticidad	59
9 Representación de criticidad	60
10 Evaluación de criticidad	61
11 Índice de gravedad de fallo	62
12 Índice de frecuencia de fallo.....	63
13 Índice de detección de fallo	64
14 Análisis AMEF	65
15 Procedimientos de mantenimiento.....	68
16 Limpieza y lubricación	69
17 Mantenimiento mecánico.....	70
18 Mantenimiento eléctrico.....	71
19 Monitoreo	72
20 Reparación general	73
21 Plan de mantenimiento.....	74
22 Plan maestro anual de mantenimiento.....	76
23 Bitácora de mantenimiento.....	76
24 Orden de trabajo.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Calor.....	5
2 Equilibrio térmico.	6
3 Conducción.....	6
4 Convección.	7
5 Radiación.....	7
6 Evaporización.	8
7 Reacción de la combustión.	9
8 Proceso de combustión.....	9
9 Características de fuel oil.	12
10 Calderas pirotubulares.	15
11 Cargas.	25
12 Reparación.....	26
13 Formato de estado técnico.....	28
14 Planes de acción.	30
15 Limpieza de tubos de fuego.	37
16 Tuberías de agua.....	38
17 Tuberías de condensado.....	38
18 Tuberías de vapor.....	39
19 Carcasa del caldero.....	39
20 Accesorios	40
21 Boquilla de combustible.....	40
22 Calibración de electrodos.....	41
23 Chimenea.....	41
24 Visor.....	42
25 Presuretroles.....	42

26	McDonell	43
27	Presostato.....	43
28	Controlador Honeywell	44
29	Tablero de control.....	44
30	Termómetro	45
31	Válvula de seguridad	45
32	Paro de emergencia	46
33	Sistema de ingreso de agua.....	46
34	Suministro de combustible	47
35	Ablandador de agua	48
36	Distribuidor.....	48
37	Tanque de condensado.....	49
38	Sistema de tratamiento químico.....	49
39	Piso del laboratorio	50
40	Ventanas del laboratorio.....	50
41	Puerta del laboratorio	51
42	Techo del laboratorio	51
43	Sistema eléctrico	52
44	Cisterna.....	52
45	Paredes.....	53
46	Cubiertas.....	53
47	Flujograma de criticidad	60

LISTA DE ABREVIACIONES.

RCM	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices.
UNE	Una Normas Españolas.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional.
EPP	Equipo de Protección Personal.
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
AMEF	Análisis de Modo Efecto y Falla.

LISTA DE ANEXOS

- A Estado técnico de sistemas mecánicos.
- B Estado técnico de elementos de control.
- C Estado técnico de elementos de seguridad.
- D Estado técnico de los sistemas auxiliares.
- E Estado técnico de suministro de agua.
- F Estado técnico de ablandamiento de agua.
- G Estado técnico de sistema de condensado.
- H Estado técnico de sistema de tratamiento químico.
- I Estado técnico de distribuidor de vapor.
- J Estado técnico de quemador.
- K Estado técnico de obra civil.
- L Plan maestro anual de mantenimiento.
- M Bitácora de mantenimiento.
- N Manual de seguridad.
- O Guía de laboratorio de reconocimiento de las partes de un caldero.
- P Guía de laboratorio de arranque y apagado del caldero.
- Q Guía de laboratorio de mantenimiento del caldero.
- R Análisis termográfico.
- S Análisis de ultrasonido.
- T Referencia de filtro de combustible.

RESUMEN

La Facultad de Mecánica de la ESPOCH posee un caldero pirotubular marca Cleaver Brooks, en condiciones no funcionales alrededor de 25 años, en vista de la necesidad de la puesta en funcionamiento del mismo como un aporte hacia los estudiantes de la facultad y hacia la especialización de los estudiantes se propuso poner en marcha dicho caldero y los planes de mantenimiento centrados en la confiabilidad.

En el trabajo de investigación lo primero que se realizó fue un análisis de la situación inicial de forma cualitativa y cuantitativa, lo cual permitió conocer el estado real de todas y cada una de los elementos constitutivos del caldero. Posterior a esto se elaboró un cronograma de mantenimiento con tiempos de ejecución y responsables para realizar las actividades.

Se realizaron trabajos de mantenimiento civil en donde se restauraron todas las instalaciones acorde con las normas básicas, además trabajo de mantenimiento correctivo en todas las partes constitutivas del caldero, reacondicionamiento de elementos auxiliares como bomba de suministro de agua, ablandador, tanque de combustible y demás elementos que permiten el correcto funcionamiento del caldero; cabe destacar que se puso especial énfasis en normas de seguridad, operación y mantenimiento para cumplir con todas las exigencias de un laboratorio con los más altos estándares.

Después de realizar todas las labores de reparación se elaboraron planes de mantenimiento acordes para el activo, se generaron guías de prácticas para que los estudiantes realicen las mismas; el trabajo de investigación se completó con la elaboración de manuales de operación, mantenimiento y seguridad de generación de vapor.

SUMMARY

At Mechanics Faculty belonging to ESPOCH, there is a pyrotubular boiler Cleaver Brooks brand that has not functioned by nearly 23 years, facing the necessity to start its functioning as a contribution to students and their specialization, it was proposed to make to function the mentioned boiler and the maintenance plans cantered on reliance.

Developing the research, the first step performed was a qualitative and quantitative analysis of the initial situation that permitted to know the real state of each and every constituents of the boiler. After this, a maintenance chronogram including performance periods and responsible staff to carry out activities were elaborated.

Civil maintenance works-through which all installations were restored in agreement to basic norms-were carried out; in addition to corrective maintenance works on all boiler constituents, reconditioning of auxiliary elements like water supply bomb, softener, fuel tank and other constituents that permit the correct boiler functioning; it is necessary to make relevant the special emphasis on security, operation and maintenance regulations for fulfilling all lab requirements based on the highest standardizations.

After carrying out all reparation tasks, maintenance plans according to the active were elaborated, practical guidelines for students to carry out were generated; the research was complemented elaborating operation, maintenance and security manuals for vapor generation lab.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se encuentra la Facultad de Mecánica en donde se vio la necesidad de crear un laboratorio de generación de vapor, para lo cual adquirieron un caldero pirotubular de marca Cleaver Brooks en el año de 1992, pero éste no tuvo mucho uso y quedó totalmente descuidado hasta la actualidad.

Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos en funcionamiento. Esto, debido a que los requerimientos de mantenimiento han cambiado dramáticamente en los últimos tiempos y la evaluación de políticas así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros, pero nuevas técnicas y nuevas opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

La aplicación del RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

1.2 Justificación

Viendo la necesidad de que en la Facultad de Mecánica se cuente con un laboratorio de generación de vapor, para que los conocimientos de los estudiantes no solo sean teóricos sino prácticos, se ve la necesidad de poner en marcha el caldero, y es por eso que con el presente trabajo se pretende aportar de manera académica a los estudiantes de la Facultad de Mecánica con nuevos métodos de diagnósticos de mantenimiento, de manera que el mismo sea una herramienta de trabajo que permita introducir gradualmente técnicas eficaces de mantenimiento.

Cualquier gestión de mantenimiento consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, partiendo de la ejecución permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional. El mantenimiento debe asegurar que este caldero continúe cumpliendo con su función específica que es generar vapor. Es decir, deben estar centrados en la confiabilidad operacional.

El RCM es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Poner en marcha y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) del caldero pirotubular de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Determinar el estado técnico actual del caldero.

Analizar la criticidad de las partes en función de factores que intervienen en su operación.

Analizar el manejo de repuestos críticos en el caldero pirotubular en función de los modos de fallo.

Planificar las frecuencias de mantenimiento en el caldero pirotubular.

Analizar y determinar las herramientas necesarias para la implementación de un Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el caldero pirotubular de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Realizar una guía de operación para el caldero pirotubular.

Realizar un manual de seguridad para la operación del caldero pirotubular.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso termodinámico

2.1.1 *Estados de la materia:*

Sólido. La materia conserva su forma, dimensiones físicas, tamaño y peso.

Líquido. La materia conserva su volumen y peso, su forma depende del recipiente que lo contiene. Los líquidos pueden formar una superficie libre.

Gaseoso. La materia en este estado a veces se lo denomina estado de vapor; no mantiene sus dimensiones ni densidad, su forma depende del recipiente que lo contiene. Los gases no son capaces de formar una superficie libre. (KREITH, 1970).

Energía:

- Por energía indicamos algo que aparece en muchas formas, las cuales se relacionan entre sí, por el hecho de que se puede hacer conversión de una forma de energía a otra.
- La energía tiene una magnitud y sentido siendo una magnitud escalar. La energía de un sistema de cuerpos es la suma de energías con sus sentidos en cada uno de ellos. Siendo la energía total de un sistema la suma de las magnitudes con sus sentidos o signos de las diversas formas de energía, tales como la cinética, mecánica, química, térmica, entre otras.
- La materia está compuesta por moléculas que se están moviendo continuamente, pero al azar. Como las moléculas tienen masa, tienen energía cinética interna, ésta energía cinética interna total, se origina principalmente por: el movimiento de las moléculas; el movimiento de rotación de las moléculas y el movimiento vibratorio de los átomos dentro de las moléculas.
- Además de la energía cinética interna, las sustancias tienen energía potencial interna, cuyo cambio resulta de una fuerza de atracción entre las moléculas que cambian de posición, una respecto a la otra.
- La suma de la energía se denomina energía interna, que es la energía almacenada en un cuerpo o sustancia en virtud de la actividad (KREITH, 1970).

2.1.2 Termodinámica. Es la rama de la ciencia que estudia la acción del calor en movimiento. Hay principios fundamentales de la naturaleza que rigen nuestra existencia en la tierra llamadas leyes de la termodinámica.

2.1.3 Cambios de estado de la materia. Cuando se le agrega o sustrae calor a una materia puede tener los tres estados.

Las sustancias pueden cambiar de estado, generando cinco cambios:

- Solidificación. Paso de líquido a sólido.
- Licuefacción. Paso de sólido a líquido.
- Vaporización. Paso de líquido a gas.
- Condensación. Paso de gas a líquido.
- Sublimación. Paso de sólido a gas.

2.1.4 Temperatura. Es la magnitud del estado térmico de un cuerpo o un sistema termodinámico considerado con referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos.

2.1.5 El calor. Es una forma de energía que se transfiere cuando hay una diferencia de temperatura.

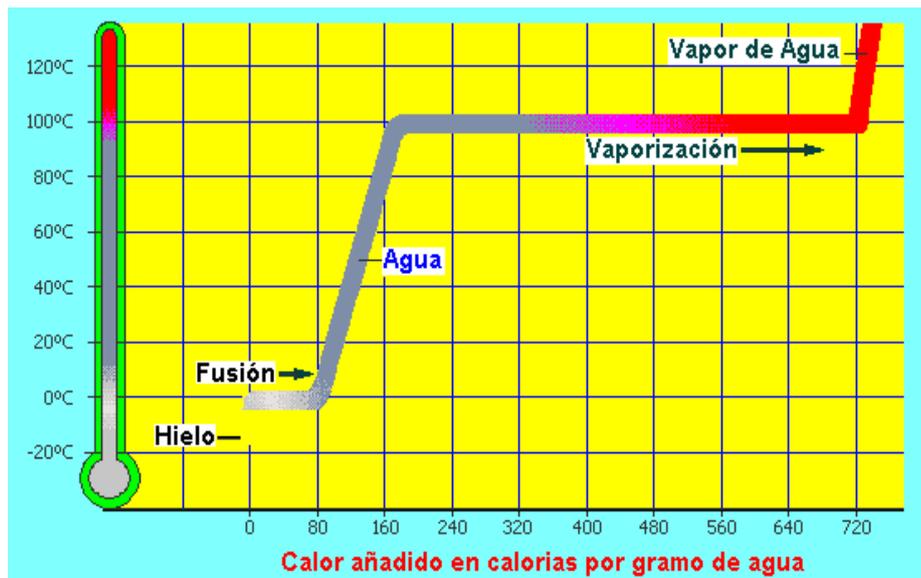
Cuando es aplicado a una sustancia o material, se puede presentar uno o varios cambios físicos a saber:

- La sustancia aumenta de temperatura.
- La sustancia se puede fundir.
- La sustancia se puede evaporar.
- La sustancia puede cambiar de tamaño.
- La sustancia puede cambiar de color.
- La puede provocar que la sustancia ejerza mayor

El calor pasará de un cuerpo a otro solamente cuando exista una diferencia de temperatura.

Por lo tanto la dirección del calor solo será desde el cuerpo de mayor energía al de menor energía.

Figura 1. Calor.



Fuente: <http://goo.gl/LqV9S8>

2.1.6 Cantidad de calor. La cantidad de calor es distinta de la intensidad de calor porque tiene en cuenta no solo la temperatura de la sustancia que se está midiendo sino también el peso de la misma.

2.1.7 Calor específico. Es la cantidad de calor que hay que suministrar a una sustancia o sistema para que se eleve la temperatura de una unidad de masa en un grado centígrado.

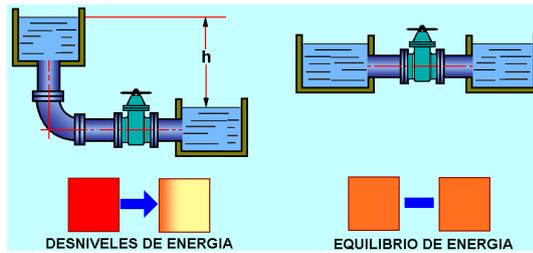
2.1.8 Calor sensible. El calor que se puede sentir o medir se llama CALOR SENSIBLE. Éste calor provoca un cambio de la temperatura de una sustancia, pero no el cambio de su estado.

2.1.9 Calor latente. Es la cantidad de calor requerida para lograr el cambio de estado físico de una sustancia sin que existan variaciones en su temperatura.

La palabra latente se deriva del vocablo latino que significa escondido, se trata del calor escondido, que no lo registra el termómetro ni se puede sentir.

2.1.10 Calor latente de fusión. Se denomina al calor que interviene en los procesos de licuefacción y solidificación sin cambios de temperatura.

Figura 2. Equilibrio térmico.



Fuente: <http://goo.gl/PI3c0I>

2.1.11 Métodos de transferencia de calor. Físicamente hablando la transferencia del calor es el proceso de intercambio de energía en forma de calor, entre distintos cuerpos, o en diferentes partes de un mismo cuerpo que están a diferente temperatura.

El calor se transfiere en tres métodos que son:

- **Conducción.**

Ocurre cuando el calor es transmitido por contacto directo entre las moléculas de un cuerpo simple o entre dos cuerpos con buen contacto térmico entre ellos.

Figura 3. Conducción.



Fuente: <http://goo.gl/8zgrff>

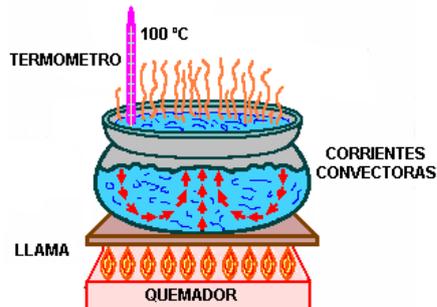
- **Convección.**

Si existe diferencia de temperatura en un líquido o gas, de seguro se producirá movimiento del fluido por diferencia de densidades.

Generándose corrientes convectoras que se mueven en el seno del fluido, que se encargan de difundir el calor en el mismo, a este proceso se lo denomina convección natural.

Para acelerar éstas corrientes se puede añadir un agitador que aceleraría esta distribución del calor, a este proceso se lo denomina convección forzada.

Figura 4. Convección.



Fuente: <http://goo.gl/ZddLjN>

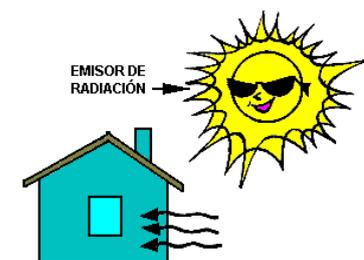
- **Radiación**

Un cuerpo caliente emite calor en forma de energía radiante, la cual se propaga en todas direcciones desde el cuerpo con mayor temperatura a otro u otros de menor temperatura.

La radiación más efectiva de hecho se da en el vacío perfecto.

En un ambiente que no exista el vacío no se considera el medio existente entre el emisor y el receptor.

Figura 5. Radiación.



Fuente: <http://goo.gl/CwYsBF>

2.1.12 El vapor. Es el cambio de estado de la fase líquida a la fase gaseosa a través de la transferencia de calor, todo este proceso es denominada vaporización.

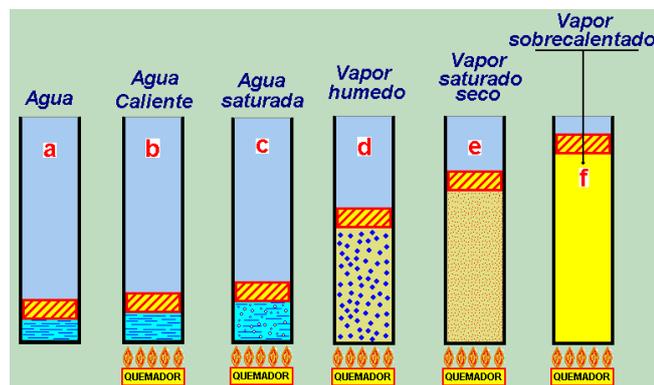
2.1.13 Tipos de vapor generados sin presión:

Vaporización. Cambio de un cuerpo sólido o de una sustancia líquida a la fase de vapor.

Evaporación. Presencia de vapor en la superficie libre de un líquido a cualquier temperatura.

Ebullición. Es la presencia del vapor en el seno mismo del líquido.

Figura 6. Evaporización.



Fuente: <http://goo.gl/JfE3wz>

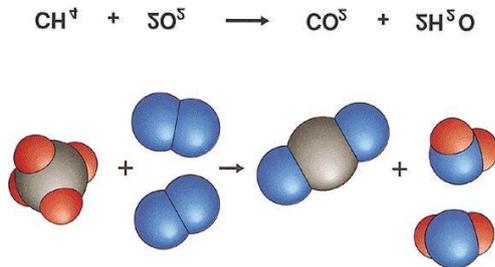
2.1.14 Punto de ebullición. Es definido como el momento o instante en que se produce el cambio de estado de líquido a gaseoso, en otras palabras es la temperatura en que un líquido empieza a hervir. (GRANET, 1988).

2.2 Combustión

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con el oxígeno. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible. La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual. (GRANET, 1988) La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO_2 y H_2O .

Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible sólo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

Figura 7. Reacción de la combustión.



Fuente: <http://bit.ly/1DculiR>

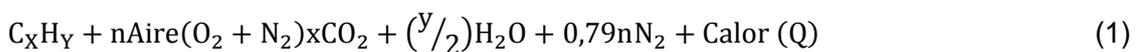
2.2.1 Elementos de la combustión. Los elementos necesarios para que se realice la combustión son el comburente y el combustible. Se denomina comburente al medio de reacción que permite que ocurra una combustión. En nuestro planeta, el comburente natural es el oxígeno (O₂). Se define combustible a toda sustancia capaz de arder. (ATtribution-COMMERCIAL, 2010)

Figura 8. Proceso de combustión.

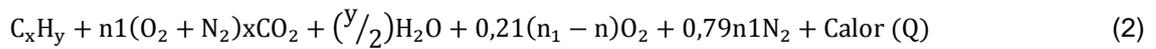


Fuente: <http://bit.ly/1A5R3tU>.

2.2.2 Combustión estequiométrica o teórica. Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos, debido a que éste se ha empleado íntegramente en la reacción.



2.2.3 Combustión con exceso de aire. Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de aire, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión. (TEXTOS CIENTIFICOS, 2006). La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de aire es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.



2.2.4 Combustibles. Llamamos combustible a toda sustancia natural o artificial, en estado sólido, líquido o gaseoso que, combinada con el oxígeno produzca una reacción con desprendimiento de calor. Todos los combustibles industriales se caracterizan por estar constituidos por mezclas o combinaciones de pocos elementos. La mayor proporción (en peso) corresponde a Carbono, Hidrógeno y en muchos casos algo de Azufre, elementos cuyas reacciones de combustión son exotérmicas. (GARCIA, 2001). Dependiendo de la fase en que se presenten: combustibles sólidos, líquidos y gaseosos se los puede clasificar de la siguiente manera.

Tabla 1. Clasificación de combustibles industriales.

Sólidos.	Naturales.	Madera y residuos vegetales
		Turbas.
		Lignitos.
		Hullas.
		Antracitas.
	Artificiales.	Conques (carbón y petróleo).
		Aglomerados y briquetas.
		Carbón vegetal.
Líquidos.	Alcoholes.	Naturales.
		Artificiales.
	Residuales.	Lejías negras.
	Derivados del petróleo.	Gasóleos.
Fuelóleos.		
Gaseosos.	Residuales.	Fuel-Gas.
	Gas natural.	Diferentes familias.
	Gases Licuados del Petróleo (GLP).	Propanos y butanos.
	Artificiales.	Gas de alto horno.
		Gas de coque.
		Gas pobre.
		Gas de agua.
	Gas de ciudad.	
Biogás.		

Fuente: Sistema de combustible-UTN FRSF Tecnología del calor.

2.2.5 Propiedades de los combustibles. Las propiedades más características de los combustibles son:

2.2.5.1 Composición. La composición de un combustible es muy importante para poder determinar los parámetros característicos estequiométrica de la reacción de combustión y conocer si en él existen sustancias que puedan tener importancia posterior en cuanto a la contaminación o nocividad de los productos de reacción.

2.2.5.2 Poder calorífico. Se define como poder calorífico de un combustible, a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica, de los componentes de la unidad de masa (o volumen) de dicho combustible. (GARCIA, 2001)

2.2.5.3 Poder calorífico inferior. Es la cantidad de calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. En este caso una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua, por tanto ésta parte del calor no se aprovecha. (GARCIA, 2001)

2.2.5.4 Poder calorífico superior. En los productos de la combustión el agua aparece en forma líquida, por lo que se aprovecha todo el calor de oxidación de los componentes del combustible.

2.2.5.5 Viscosidad. La viscosidad tiene gran importancia en los combustibles líquidos a efectos de su almacenamiento y transporte. Su determinación es experimental y los valores típicos se encuentran tabulados para los distintos combustibles industriales líquidos.

2.2.5.6 Densidad. Generalmente se determina experimentalmente y para el caso de los combustibles gaseosos se utiliza la densidad relativa al aire. En la práctica es muy importante conocer este parámetro para saber si el gas combustible se acumula en el techo o en el suelo, en caso de una fuga en un local cerrado. (GARCIA, 2001)

2.2.5.7 Límite de inflamabilidad. Esta propiedad es característica de los combustibles gaseosos y establece la proporción de gas y aire necesaria para que se produzca la combustión, indicando un límite superior y uno inferior.

2.2.5.8 Punto de inflamación. Para que una reacción de combustión se produzca, la mezcla de combustible y comburente debe alcanzar una temperatura mínima necesaria, que recibe el nombre de punto de inflamación. El punto de inflamación depende del comburente, por lo que su valor no es el mismo si se utiliza oxígeno o aire. (GARCIA, 2001)

2.2.5.9 Fuel oil #2. Mejor conocido como diésel a nivel nacional es uno de los combustibles más utilizados en la industria por su bajo costo y gran disponibilidad a continuación se presenta un cuadro con las propiedades de éste combustible.

Figura 9. Características de fuel oil.

CUADRO RESUMEN CARACTERISTICAS DE FUEL OIL			
COMBUSTIBLE	FUEL OIL BIA	FUEL OIL 1	FUEL OIL 2
UNIDAD	kg	kg	kg
DENSIDAD	960 kg/m ³	960 kg/m ³	980 kg/m ³
PCI (PODER CALORÍFICO INFERIOR)	9.588 kcal/kg	9.465 kcal/kg	9.271 kcal/kg
	11.15 kWh/kg	11.01 kWh/kg	10.78 kWh/kg
PCS (PODER CALORÍFICO SUPERIOR)	10.116 kcal/kg	9.985 kcal/kg	9.767 kcal/kg
	11.76 kWh/kg	11.61 kWh/kg	11.36 kWh/kg
PCI/PCS	0.948	0.948	0.949
PODER COMBURIVORO	10.29 Nm ³ /kg	10.18 Nm ³ /kg	9.99 Nm ³ /kg
	0.92 Nm ³ /kWhPCI	0.92 Nm ³ /kWhPCI	0.93 Nm ³ /kWhPCI
PODER FUMIGENO SECO	9.75 Nm ³ /kg	9.64 Nm ³ /kg	9.49 Nm ³ /kg
	0.87 Nm ³ /kWhPCI	0.88 Nm ³ /kWhPCI	0.88 Nm ³ /kWhPCI
PODER FUMIGENO HUMEDO	10.87 Nm ³ /kg	10.74 Nm ³ /kg	10.54 Nm ³ /kg
	0.97 Nm ³ /kWhPCI	0.98 Nm ³ /kWhPCI	0.98 Nm ³ /kWhPCI
PFS/PC	0.947	0.948	0.950
CO ₂ PRODUCIDO EN COMBUSTIÓN	3.15 kg/kg	3.10 kg/kg	3.07 kg/kg
	283 gr/kWhPCI	282 gr/kWhPCI	284 gr/kWhPCI
H ₂ O PRODUCIDO EN COMBUSTIÓN	1.53 kg/kg	1.50 kg/kg	2.00 kg/kg
	137 gr/kWhPCI	136 gr/kWhPCI	185 gr/kWhPCI
CO ₂ máximo (%)	16.47%	16.37%	16.46%
CONTENIDO AZUFRE	<1%	<2,7%	<3,5%

Fuente: Sistema de combustible-UTN FRSF Tecnología del calor pág. 1.

2.2.6 *Temperatura de llama adiabática.* Es la temperatura alcanzada cuando se quema un combustible en aire u oxígeno sin ganancia o pérdida de calor se denomina temperatura teórica de la llama. Se considera el supuesto de que no se realiza ningún trabajo mecánico y que los únicos términos de energía que intervienen son la energía interna y el trabajo de flujo. (GRANET, 1988)

Debe conocerse la composición verdadera de los productos, incluida la presencia de reactivos que han reaccionado, radicales libres y átomos libres, y el método no se puede aplicar a la primera fracción de segundo requerida para alcanzar los valores de equilibrio de las capacidades caloríficas. La máxima temperatura adiabática de llama se alcanza cuando se quema el combustible con la cantidad teóricamente necesaria de oxígeno puro.

2.2.7 *Eficiencia de la combustión.* Se define como la eficacia de cualquier aparato de combustión para convertir la energía interna contenida en un combustible en energía calórica para ser usada en el proceso. Eficiencia de combustión es la energía total contenida por unidad de combustible menos la energía llevada por los gases de combustión y el combustible no quemado.

Antes de realizar grandes inversiones de capital para mejorar el rendimiento de la caldera, se debe maximizar la eficiencia de la combustión y el mejor camino para hacerlo es medir el oxígeno y el combustible no quemado en el gas de combustión en forma continua. (ELECTROINDUSTRIAL, 2009)

2.2.8 *La importancia del exceso de aire.* La pérdida de calor en los gases de combustión es la principal pérdida de energía en un proceso de este tipo y es imposible de eliminar, porque los productos de este proceso son calentados por el proceso mismo. No obstante, puede ser minimizada reduciendo la cantidad de exceso de aire suministrado al quemador.

Ya que el oxígeno en los gases de combustión está directamente relacionado al exceso de aire, un analizador de oxígeno es la mejor manera para controlar la cantidad de exceso de aire y la pérdida de calor asociada. (ELECTROINDUSTRIAL, 2009)

2.2.9 Pérdidas por combustible no quemado. Nunca se debe operar un quemador con menos aire que el requerido estequiométricamente para la combustión. No sólo resultaría en una chimenea humeante, sino que reduciría significativamente la energía total liberada en el proceso debido al combustible no quemado.

Si un quemador es operado con una deficiencia de aire, no se quemará todo el combustible y la cantidad de combustibles (CO y H₂) en los gases de combustión se incrementa. (ELECTROINDUSTRIAL, 2009)

2.3 Tipos de calderos

2.3.1 Caldero. Es un recipiente cerrado que transforma el agua en vapor a determinada presión y temperatura mediante la aplicación de una fuente de calor.

Vapor que es utilizado de diferentes formas tales como:

- Energía para Procesos industriales.
- Confort humano.
- Vapor de Potencia.

2.3.2 Tipos de calderos. En la tabla 2 se detalla los tipos de calderos.

Tabla 2. Tipos de calderos

Calderos de tubos de agua o acuaturbulares	Circulación natural	De tubos rectos	
		De tubos curvados	
		Sterling	
		Compactas modernas	Tipo A
	Tipo O		
	Tipo D		
Circulación forzada	Supercríticas		
	De serpentines		
Calderos de tubos de fuego o pirotubulares	Hogar exterior	De retorno horizontal	
		De tipo económico	
		Hogar de locomotora	
	Hogar interior	Vertical	
		Fuelóleos.	

Fuente: Autores.

2.3.3 Caldero pirotubular de hogar interior. Son los calderos de mayor número de uso hoy en día en las plantas comerciales y pequeñas plantas industriales. Este caldero fue originalmente para servicio marino porque el hogar forma parte del conjunto del caldero. El caldero SM esta soldado como una unidad compacta que consta de una vasija o recipiente de presión con quemador, controles, ventilador de tiro, controles de tiro y otros componentes ensamblados en una unidad, completamente probado en fabrica.

El caldero de hogar interior y tubos de humo está construido como un hogar de paredes húmedas y/o de pared trasera de fondo seco, mostrada en la figura 10. Los gases calientes que se producen en la combustión del hogar pasan desde la cámara de combustión con revestimiento refractario hacia la parte trasera y, entonces, retornan a través de unos tubos de humo hasta el frontal de la caldera y después a la chimenea. Esta caldera es adecuada para la combustión de carbón, gas y combustibles líquidos del petróleo.

Figura 10. Calderas pirotubulares.



Fuente: Cleaver Brooks

El hogar está sometido a esfuerzo de compresión y, por tanto, debe diseñarse para resistirlos. Los hogares, de diámetros relativamente pequeños y corta longitud, pueden ser autosoportados si el espesor de la chapa es el adecuado, deben utilizarse uno de estos cuatro sistemas o métodos de soporte: 1) paredes del hogar ondulado corrugado; 2) por división de la longitud del hogar en sección con bridas de refuerzo (anillos adamson) entre las secciones; 3) utilizando anillos de refuerzo para dar rigidez; y 4) instalando tirantes de arrojamiento entre el hogar y la virola exterior.

En calderos de diámetro grandes, es práctico utilizar más de un hogar; dos, tres e incluso cuatro hogares se utilizan en los grandes calderos de este tipo. La figura 10 es una vista en corte seccional de un modelo de cuatro pasos. Esta unidad mantiene una velocidad de gases alta de manera continua. Como los gases calientes atraviesan los cuatro pasos, transfieren calor al agua del caldero y así se enfrían y ocupan menos a medida que progresan por los diferentes pasos de tubos. El número de tubos se reduce proporcionalmente para mantener la velocidad elevada de los gases y así mantener la producción lo más constante posible en función de la transferencia de calor. (SELMEC, 1976)

2.4 Partes de los calderos pirotubulares

Las partes constitutivas de un caldero pirotubular son:

- Cuerpo del caldero.
- Quemador
- Accesorios de control.
- Accesorios de seguridad.
- Equipos auxiliares.

2.4.1 *Cuerpo del caldero pirotubular.* Está constituido por:

Carcaza: es la envoltura que cierra el cilindro a presión del caldero.

Hogar: es la cámara donde se realiza la combustión del caldero.

Tubos: es por donde se conducen los gases calientes de la combustión.

Espejos: son planchas de acero circulares en los cuales se perforan orificios para alojar a los tubos y al hogar.

Compuertas: su finalidad principal es cerrar el lado de fuego de un caldero, además desviar los gases de la combustión.

Refractario: la misión de éste es proteger el material metálico refractando los rayos de calor que se proyectan contra él.

Aislamiento térmico: sirve para evitar el desperdicio energético, normalmente es de lana de vidrio o lana cerámica.

2.4.2 Quemador. Es un dispositivo que nos ayuda a producir combustión dentro del hogar. Dependiendo del combustible a quemar, varían los sistemas de los quemadores. Para diesel # 2 por ejemplo, necesitamos únicamente atomizar a presión el combustible, pero si se trata de bunker # 6 por su alta viscosidad para poder atomizarlo y combustionarlo necesitamos precalentarlo para disminuir su viscosidad y poder atomizarlo por medios mecánicos (presión) ayudándonos con aire comprimido o vapor.

La eficiencia y la utilización satisfactoria del aceite combustible, depende de la capacidad de los quemadores, para atomizar el aceite y mezclarlo con el aire en las proporciones correctas.

2.4.2.1 Partes del quemador. Está compuesto de un gran número de partes, pero analizando las funciones principales de cada una, se han agrupado en el siguiente orden:

a. *Suministro de aire.* El suministro de aire es parte constitutiva del caldero que está conformado por:

Ventilador: es el elemento que se encarga de proporcionar el aire necesario para la combustión, lo toma del ambiente y lo presuriza dentro de la cámara de combustión pasando previamente por el difusor de aire.

Para controlar la cantidad de aire que debe inyectarse al hogar, existe una compuerta a la entrada del quemador (DAMPER DE ENTRADA) la misma que puede tener una o varias posiciones durante el proceso de combustión permitiendo el paso de la cantidad adecuada de aire, de acuerdo a la fase en que se encuentre el proceso de combustión del quemador.

Difusor: es el encargado de mezclar el aire suministrado por el ventilador entre las partículas pulverizadas del combustible, para que entren en contacto y así lograr una combustión eficiente, además el difusor logra un efecto tangencial del aire de suministro para lograr una mayor transferencia de calor en la cámara de combustión.

b. *Suministro de combustible:* está constituido por:

Bombas de combustible: el combustible que se suministra a la boquilla con la presión adecuada es suministrado por la bomba de combustible. En el caso de los quemadores a presión la bomba es la encargada de suministrar el combustible normalmente a presiones que oscilan entre los 690 kPa (100-150 psi).

Válvulas solenoides: son válvulas eléctricas que nos ayudan a controlar la admisión de combustible al caldero, éstas son controladas por el programador.

Ductos de combustible: en la parte central del quemador desde la parte posterior hacia adelante se encuentran localizados los ductos de combustible que dependiendo del tipo de caldero pueden ser los siguientes: ducto de combustible para llama piloto, ducto de combustible para fuego bajo, ducto de combustible para fuego alto, ducto de combustible para caldero de modulación full, ducto para retorno de combustible.

Boquilla: Para quemar el diesel, debe convertirse primero al estado de gotas pequeñas o niebla, y vaporizarse para que se mezcle con la cantidad correcta de aire (oxígeno) y obtener tanto desprendimiento potencial de calor como sea posible.

c. *Encendido del quemador.* Cuyas partes son el transformador de ignición, electrodos, detector de llama o foto celda.

Transformador de ignición: para que pueda producirse el arco eléctrico entre las puntas de los electrodos, es necesaria una fuente de alto voltaje y esta fuente es el transformador de ignición, que toma de la red eléctrica 110 o 220 V de suministro y lo transforma en 10.000 V ó 12.000 V ó 15.000 V.

Electrodos: Estos están contruidos de materiales altamente conductores de electricidad y resistente a altas temperaturas. Los electrodos deben tener una separación entre las puntas exactas, especificadas por el fabricante con el fin de lograr un arco eléctrico, para proporcionar alta temperatura e iniciar el proceso de combustión.

Detector de llama o foto celda: usa características de la llama, tales como: conducción, ionización, calor, luz y emisión electromagnética. El detector de llama que usa

cualquiera de estas características de una señal de vía libre el sistema lógico cuando la llama está presente y una señal de paro cuando está ausente.

2.4.3 Accesorios de control. El término control se refiere a válvulas y componentes más importantes, inclusive los controles eléctricos y de programación que gobiernan el funcionamiento de un caldero.

McDonnell: controla el ingreso de agua de tal manera que el nivel en el caldero se mantenga constante.

Manómetros: todos los calderos deben tener al menos un manómetro de presión con un rango de al menos 1,1 veces la presión de trabajo permisible.

Válvulas de seguridad: los calderos se diseñan para una exacta presión de operación máxima; si ésta se sobrepasa, hay peligro de una explosión. Éste peligro es tan grande que se necesita equipar los calderos con válvulas de seguridad para mantener la presión dentro de los límites.

Dispositivos de purga: el agua de alimentación de los calderos siempre trae sedimentos y minerales disueltos (en suspensión). El calcio y magnesio son parte de éstos minerales los mismos que con la temperatura y con ayuda de productos químicos se precipitan depositándose en las partes bajas de la cámara de agua. La forma de eliminarlos es colocando dispositivos de purga en los sitios más bajos.

Válvulas check: son dispositivos que nos ayudan a controlar el flujo de líquidos en un solo sentido.

Presóstatos: son instrumentos que trabajan en base a la presión, en un caldero existen al menos dos presóstatos y éstos son: presóstato de operación y presóstato de alta presión.

Modulador: son aparatos de control que ayudan a mantener la relación aire-combustible dentro del hogar, para mantener una buena relación de combustión, estos aparatos funcionan con ayuda de programadores y presóstatos.

2.4.4 Accesorios de seguridad. El sistema de seguridad de un caldero es aquel que operará en caso de fallas para evitar su destrucción o explosión con graves consecuencias.

Control de bajo nivel de agua: incorporado en el McDonnell el mismo que suspenderá la operación del equipo cuando la cantidad mínima indispensable de agua haya bajado a su límite.

Presóstato de alto límite: éste control entra en funcionamiento cuando el presóstato de operación haya fallado, es decir cuando la presión sobrepasa un poco la presión calibrada para la necesidad de consumo.

Válvulas de seguridad: son las encargadas de descargar a la atmósfera toda la cantidad de vapor que es capaz de producir el caldero para evitar una explosión de sobrepresiones.

2.4.5 Equipos auxiliares. Son todos los equipos complementarios para el correcto funcionamiento de un caldero y estos equipos son:

Tanque de almacenamiento de agua y condensado: uno de los factores principales para la operación óptima de un caldero es, contar con un sistema de suministro de agua que sea adecuado, esto es debido a que es indispensable mantener un nivel de agua constante en el interior del caldero.

Equipo de bombeo y control del sistema: son los equipos que se encargan de mantener un nivel constante de alimentación de agua utilizando una bomba centrífuga y un tanque de presión.

Ablandador: es un equipo que utiliza un proceso de intercambio de iones para remover el calcio, magnesio, hierro y manganeso que causan la dureza del agua.

Tratamiento químico: de acuerdo al sistema se utiliza una bomba dosificadora para alimentar químicos al caldero. El compuesto químico se alimenta directamente al caldero en forma continua y proporcional al agua alimentada al caldero así se consiguen niveles de tratamiento uniformes que aseguran un 100% de efectividad. (KOHAN, 2000)

2.5 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-Centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, entre otros. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada? (MOUBRAY, 1996)

2.5.1 Definición de RCM. Optimiza la implementación del mantenimiento preventivo, basados en la confiabilidad de los equipos.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad R.C.M. por sus siglas en inglés es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, es principalmente útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento. El R.C.M. analiza cada sistema y como puede fallar funcionalmente.

Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en el medio ambiente, seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

La idea central del R.C.M. es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los activos más que los activos mismos. Es la función desempeñada por una maquina o equipos lo que interesa desde el punto de vista productivo.

También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza ésta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas.

2.5.1.1 Ventajas:

- Garantiza el funcionamiento seguro y confiable de máquinas y/o equipos.
- Reducciones de costos, directos e indirectos, porque mejora la calidad del programa de mantenimiento
- Satisface las normas de seguridad y medio ambiente.
- El R.C.M. incentiva la relación entre distintas áreas de la empresa, creando de esta manera un ambiente de compañerismo al interior de la organización.
- Disminuye los costos por mantenimiento innecesarios basados en la confiabilidad de los equipos.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quién debe hacer qué para conseguirlo.

2.5.1.2 Desventajas:

- El R.C.M. requiere un amplio conocimiento acerca de la fiabilidad y mantenibilidad del sistema y todos sus componentes.
- El personal de mantenimiento necesita un amplio conocimiento sobre la funcionalidad de cada elemento de las máquinas y/o equipos.
- Requiere de mucha inversión en capacitación al personal de mantenimiento para la implementación del RCM.
- Demanda el conocimiento de normas, las cuales especifican las exigencias que debe cumplir un proceso para poder ser denominado R.C.M.
- Necesita el apoyo de todos los recursos humanos involucrados en la entidad productiva, lo cual por lo general es difícil al principio. (MANTENIMIENTO PLANIFICADO, 2010)

2.5.2 El contexto operacional. Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos.

Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción (2 o 3 carillas) donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, entre otros.

2.5.3 Beneficios del RCM. La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones. (MANTENIMIENTO PLANIFICADO, 2010)

2.6 Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.

La confiabilidad de un equipo o producto puede ser expresada a través de la expresión:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Dónde:

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante neperiana (e=2.303..)

t: tiempo

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación), es el inverso del tiempo de buen funcionamiento (TMEF).

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (4)$$

La confiabilidad es la probabilidad de que no ocurra una falla de determinado tipo, para una misión definida y con un nivel de confianza dado. (<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920491036>)

2.7 Normas utilizadas en el proyecto.

Las normas y guías internacionales conciliando los intereses de usuarios, fabricantes, comunidades científicas y gobiernos. Estas normas abarcan todos los campos con excepción de la normalización en tecnología eléctrica y en electrónica, de la que se encarga la Comisión Electrotecnia Internacional (IEC).

Existen distintos orígenes de normativas que definen los pasos a realizar en la implementación de un proceso de mantenimiento robusto las que utilizaremos serán detalladas a continuación:

- SAE JA 1011: Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad
- UNE 200001-3-11: Gestión de confiabilidad, mantenimiento centrado en la fiabilidad
- UNE-EN 60300-3-14: Gestión de la confiabilidad, mantenimiento y logística de mantenimiento
- ASME BPVC SECCIÓN I-2010: Reglas para la construcción de calderas de energía
- ISO 14001: Conjunto de normas que regulan un sistema de gestión ambiental
- ISO 9001-2008: Es una norma internacional que es la base de un sistema de gestión de calidad
- OSHA: Es un conjunto normas que se refieren a la prevención de riesgos del trabajo.

2.8 Mantenimiento de las obras civiles.

En las obras civiles una de las funciones más importantes del mantenimiento corresponde a mantener el equilibrio del sistema de la obra. El concreto que se obtiene de la hidratación del cemento "Portland" a través de los años que es uno de los materiales para la construcción más versátil, económica, durable y disponible. Pero el concreto esta frecuentemente expuesto a condiciones mecánicas, físicas, químicas y biológicas que comprometen y amenazan su desempeño. En otros casos, el diseño, la calidad de la mezcla o la mano de obra inadecuada ponen en peligro la integridad del concreto. Se necesita una solución integral para reparar, reforzar y proteger el concreto, que considere las causas de su deterioro y que prolongue su vida de servicio.

Figura 11. Cargas.



Fuente. <http://karu.es/3c1e70>

Para seleccionar los materiales y métodos de reparación más adecuados es importante determinar la causa de la falla antes de hacer cualquier inversión en la reparación del concreto. Para esto, se ha desarrollado la teoría de reparación conocida como *equilibrio*. El concepto de equilibrio es una herramienta innovadora para evaluar todas las influencias que causan el deterioro del concreto tales como cargas mecánicas, físicas, químicas y biológicas, éstas se encuentran en equilibrio con la capacidad estructural de la obra civil como se puede ver en la figura 11 de paquete de cargas contra capacidad estructural. Esta evaluación permite entender todas las condiciones de exposición y diseñar una reparación adecuada que restablecerá el equilibrio para soportar las cargas actuales y las previstas en el futuro.

Se ha comprobado que el concepto de equilibrio proporciona soluciones durables de largo plazo. Cuando alguna de las cargas externas interacciona y genera una rotura en el equilibrio la obra entra en un periodo de diagnóstico y análisis para reestablecer el equilibrio porque el concreto no cumple con los requisitos para los que fue diseñado como se puede ver en la figura 12.

Es importante seleccionar un sistema de productos de un solo proveedor para poder realizar una reparación exitosa, después de haber establecido una evaluación completa de los requisitos de la reparación y de haber determinado la estrategia. Se ofrecen en el mercado una gran gama de productos y la experiencia necesaria para obtener soluciones integrales de reparación y protección para el concreto. Estos van desde aditivos para concreto normal y premezclado, morteros para reparación del concreto, equipo, sistemas de refuerzo y recubrimientos decorativos y resistentes a químicos para utilizarse solos o combinados para solucionar los retos de restauración más complejos.

Sus experiencias se basan en entender las necesidades de los diferentes mercados. Si se tiene un solo método de reparación se ignoran ciertos requisitos ya que cada estructura está sujeta a condiciones ambientales, cargas y limitaciones constructivas únicas. Cada proyecto de reparación es único y se debe hacer a la medida de los requisitos específicos y las condiciones establecidas durante el proceso de evaluación del equilibrio. La base de la filosofía de soluciones integrales está en la capacidad para ofrecer combinaciones de productos diseñados para aplicaciones específicas.

Figura 12. Reparación.



Fuente. <http://karu.es/3c1e70>

2.8.1 Rehabilitación de las obras civiles. No hay mejor índice de evaluación de una obra que la eficiencia estructural de la misma, que está sujeta a la supervivencia a través del tiempo sin defectos estructurales apreciables. En su evaluación cuando se encuentran defectos estructurales se toma en cuenta un mapa de grietas y se conocen las deformaciones de la estructura se pueden aplicar modelos inelásticos y obtener curvas de capacidad. También conocer las cargas de los límites de colapso y su relación con las de servicio determina un índice de seguridad confiable. Rehabilitar es hacer que una obra civil vuelva a tener las mismas o mejores condiciones de servicio que las que tenía cuando comenzó su vida útil.

Las técnicas de rehabilitación pueden ser reversibles o irreversibles, en la primera se trata de que la edificación obtenga nuevamente su capacidad portante reforzando los elementos sin intervención de elementos nuevos, solo reparación de elementos dañados, que en su conjunto mejoran la ductilidad de la edificación, la resistencia y rigidez de los diafragmas. Las técnicas irreversibles comprenden la adherencia de elementos nuevos para reforzar la obra evaluada con inyecciones y vaciados, elementos adheridos, morteros, reparación de juntas de construcción, reconstrucción de partes, incorporación de barras de pre esfuerzo y reforzamiento de fundiciones. (MANTENIMIENTO CIVIL, 2010)

3.1.1.1 Encabezado. En la parte superior de éste formato van los logotipos de la ESPOCH y de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, además del nombre del elemento que se va a evaluar.

3.1.1.2 Datos generales. Después se encuentra información como nombre de equipo, lugar en donde se encuentra, a que sección pertenece, si posee código de activo fijo, código de mantenimiento, si el equipo posee manuales, planos o repuestos en stock.

3.1.1.3 Datos de placa. Seguido a esto se encuentra los datos de placa y una foto del equipo a evaluar

3.1.1.4 Evaluación externa del activo. En donde consta un listado de las partes de los elementos que se van a evaluar. En la figura 13 podemos encontrar en su primera columna el Ítem que pertenece el elemento a evaluar, en la segunda columna el elemento o parte a evaluar, en la tercera columna se encuentra NOK que significa que el elemento o parte se encuentra en mal estado, en la cuarta columna se encuentra OK que nos indica que el elemento o parte se encuentra en buen estado.

3.1.1.3 Análisis cualitativo y cuantitativo. Seguido encontramos la situación de estado actual general de los elementos evaluados representados de forma cuantitativa indicada en porcentaje y de forma cualitativa indicada de acuerdo a las tablas de ponderaciones.

3.1.1.4 Tablas de ponderaciones:

a) Tabla de ponderación cuantitativa

Tabla 3. Tabla de ponderación cuantitativa.

Estado	Parámetro
Muy bueno	90 a 100%
Bueno	75 a 89%
Regular	50 a 74%
Malo	menos del 50%

Fuente: CUJAE

b) Tabla de ponderación cualitativa

Tabla 4. Tabla de ponderación cualitativa.

Estado técnico	Recomendación
Muy bueno	Revisión normal según plan de mantenimiento preventivo
Bueno	Reparación pequeña
Regular	Reparación media
Malo	Reparación total o reemplazo

Fuente: CUJAE

3.1.1.5 *Observaciones y conclusiones.* Al final de esta primera parte del formato encontramos las observaciones y conclusiones que hemos visto en la evaluación de estos elementos.

3.1.2 *Segunda parte del formato: "Planes de acción"*

Figura 14. Planes de acción.

Item	Fecha	Foto	Descripción del Problema	Acción tomada	Resp.	Fecha de cierre	Status
3	21/08/2014		LOS PRESURETROLES NO DESACTIVABAN AL CALDERO	REALIZAR UNA LIMPIEZA DE LAS PARTES MECANICAS Y REVISAR SUS CONEXIONES ELECTRICAS.	CR/FG	29/08/2014	●
4	21/08/2014		EL MACDONALD NO CIERRA EL FLUJO DE AGUA CUANDO YA ESTA EN EL NIVEL EN EL CALDERO	REALIZAR UNA LIMPIEZA EN EL MACDONALD, REVISANDO CADA UNA DE SUS PARTES Y VERIFICAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA BOYA.	CR/FG	29/08/2014	●
5	21/08/2014		EL PRESOSTATO NO FUNCIONA POR LO QUE LA BOMBA DE SUMINISTRO DE AGUA SE ESTA PRENDIENDO Y APAGANDO	CAMBIAR EL PRESOSTATO	CR/FG	29/08/2014	●
6	21/08/2014		EL CONTROLADOR NO HAY NINGUNO EN ENCENDIDA AL CALDERO YA QUE ESTE PRESENTABA MUCHAS ERRORES Y NOS DABA SOLO SEÑALES DE ALARMA	REVISAR LAS CONEXIONES ELECTRICAS DEL CONTROLADOR Y DARLE UN RESET, VERIFICANDO QUE TODAS SUS TARJETAS SE ENCUENTREN FUNCIONANDO NORMALMENTE.	CR/FG	29/08/2014	●

Fuente: Autores.

3.1.2.1 Encabezado. Aquí van los logotipos de la ESPOCH y de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y el título de planes de acción de los diferentes elementos.

3.1.2.2 Ítem y fecha. La primera columna de la tabla nos indica el número del ítem del elemento que se encontró en mal estado (NOK), ya que solo de estos se van a realizar los planes de acción.

La segunda columna nos indica la fecha en que se realizó la evaluación del elemento al cual se le debe dar solución.

3.1.2.3 Foto y descripción del problema. En la tercera columna se puede visualizar la foto en el estado que se encontró el elemento que se debe dar solución.

En la cuarta columna se describe cuál es el problema que se encontró en el elemento evaluado.

3.1.2.4 Acción tomada. En la quinta columna se encuentran las tareas a realizar para dar solución al problema anteriormente descrito.

3.1.2.5 Responsables y fecha de cierre. En la sexta columna se encuentran los responsables de la realización de las tareas.

En la séptima columna va la fecha de cierre, que es la fecha en la que se termina de realizar las tareas del plan de acción.

3.1.2.6 Status. Aquí encontramos en qué porcentaje se encuentra el avance de las tareas a realizar.

3.2 Análisis de funcionamiento de los elementos mecánicos

En el estado de elementos mecánicos se evaluaron las siguientes partes: tuberías de fuego, tuberías de agua de suministro, tuberías de condensado, tuberías de vapor, estado de carcasa del caldero, estado de refractarios, estado de anclaje, estado de accesorios, estado tuberías de combustible, estado de boquillas de combustible, estado de electrodos, estado de bandas, estado de rodamientos, estado de tubería de cobre, estado de bomba de combustible, estado de motor, estado de chimenea, estado de electroválvulas, estado de visores, estado de pernos de las tapas del caldero.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 4 OK y de 5 NOK; que nos da un porcentaje de situación de estado inicial de un 50% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general de los elementos mecánicos es regular.

Para obtener más detalles de la evaluación de los elementos mecánicos, revisar el anexo A elementos mecánicos.

Para mejorar el estado de los elementos mecánicos, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de elementos mecánicos ubicados en el anexo A elementos mecánicos.

3.3 Análisis de funcionamiento de elementos de control

En el estado de elementos de control se evaluaron los siguientes elementos: manómetros de presión, fotocelda, presuretroles, McDonell, presóstato, controlador, tableros de control, termómetros, visor de nivel de aceite.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 3 OK y de 6 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 33% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general de los elementos de control es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación de los elementos de control, revisar el anexo B elementos de control.

Para mejorar el estado de los elementos de control, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de elementos mecánicos que se encuentra en el anexo B elementos de control.

3.4 Análisis de funcionamiento de los elementos de seguridad

En el estado de elementos de seguridad se evaluaron los siguientes elementos: válvulas de seguridad, timbre de alerta, paro de emergencia y resorte contra explosión.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 2 OK y de 2 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 50% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general de los elementos de seguridad es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación de los elementos de seguridad, revisar el anexo C elementos de seguridad.

Para mejorar el estado de los elementos de seguridad, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de elementos de seguridad que se encuentra en el anexo C elementos de seguridad.

3.5 Análisis de los sistemas auxiliares

3.5.1 Sistema de suministro de agua. En el sistema auxiliar de suministro de agua se evaluaron los siguientes elementos: tanque presurizado, bomba, presóstato, manómetro, tubería, conexiones eléctricas y fugas.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 2 OK y de 5 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 29% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar de suministro de agua es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar de suministro de agua, revisar el anexo D suministro de agua.

Para mejorar el estado del sistema de suministro de agua, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de sistema de suministro de agua que se encuentra en el anexo D suministro de agua.

3.5.2 Sistema de suministro de combustible. En el sistema auxiliar de suministro de combustible se evaluaron los siguientes elementos: porta filtro, filtro, visor de nivel de combustible, estado del tanque, válvulas de paso de combustible, tapa del tanque de combustible.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 2 OK y de 4 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 33% y relacionando a la tabla de

ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar de suministro de combustible es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar de suministro de combustible, revisar el anexo E suministro de agua.

Para mejorar el estado del sistema de suministro de combustible, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de sistema de suministro de combustible que se encuentra en el anexo E suministro de combustible.

3.5.3 *Sistema de ablandamiento de agua.* En el sistema auxiliar de suministro de ablandamiento de agua, se evaluaron los siguientes elementos: tanque ablandador, cabezal del ablandador, tanque de salmuera, conexión eléctrica, conexiones de tuberías.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 2 OK y de 3 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 40% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar de ablandamiento de agua es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar de ablandamiento de agua, revisar el anexo F.

Para mejorar el estado del sistema de ablandamiento de agua, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción del sistema de ablandamiento de agua ubicado en el anexo F.

3.5.4 *Sistema de condensado.* En el sistema auxiliar de condensado se evaluaron los siguientes elementos: estructura del tanque de condensado, bomba, motor, matrimonio, anclaje de motor y bomba, sistema eléctrico, termómetro, visor de nivel.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 3 OK y de 5 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 38% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar de condensado es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar de condensado, revisar el anexo G sistema de condensado.

Para mejorar el estado del sistema de condensado, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción de sistema de condensado que se encuentra en el anexo G condensado.

3.5.5 Sistema de tratamiento químico. En el sistema auxiliar de tratamiento químico se evaluaron los siguientes elementos: tanque de químico, bomba para mezcla de químico, bomba de suministro, reductor de velocidad, fugas.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 3 OK y de 2 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 60% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar de tratamiento químico es regular.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar de tratamiento químico, revisar el anexo H.

Para mejorar el estado del sistema de tratamiento químico, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción del sistema de tratamiento químico ubicado en el anexo H.

3.5.6 Sistema de Distribuidor de vapor. En el sistema auxiliar de distribuidor de vapor se evaluaron los siguientes elementos: estado de tubería del distribuidor, válvula de seguridad, anclaje de estructura de distribuidor, válvulas de paso de vapor, tuberías de vapor.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 2 OK y de 3 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 40% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del sistema auxiliar del distribuidor de vapor es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación del sistema auxiliar del distribuidor de vapor, revisar el anexo I distribuidor de vapor.

Para mejorar el estado del sistema del distribuidor de vapor, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción distribuidor de vapor que se encuentra en el anexo I distribuidor de vapor.

3.5.7 *Análisis de funcionamiento del quemador.* En el quemador se evaluaron los siguientes elementos: bomba de combustible, boquilla, electrodos, motor, transformador de ignición, difusor, válvulas solenoides, sensor de llama, manómetro de presión.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 6 OK y de 3 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 67% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general del quemador es regular.

Para obtener más detalles de la evaluación del quemador, revisar el anexo J funcionamiento del quemador

Para mejorar el estado del quemador, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción del quemador, que se encuentra en el anexo J quemador.

3.5.8 *Análisis del estado de la obra civil.* En la obra civil se evaluaron los siguientes elementos: estado del piso, de ventanas, de puerta, de paredes, de techo, estado del cubre polvo, estado del sistema eléctrico, estado de la cisterna.

Después de realizar la evaluación se obtuvo un resultado de 0 OK y de 8 NOK; que nos da un porcentaje de estado de situación inicial de un 0% y relacionando a la tabla de ponderación cualitativa, se obtiene que el estado general de la obra civil es malo.

Para obtener más detalles de la evaluación de la obra civil, revisar el anexo K obra civil

Para mejorar el estado de la obra civil, se debe realizar las tareas que se encuentran en el plan de acción obra civil, que se encuentra en el anexo K obra civil.

CAPÍTULO IV

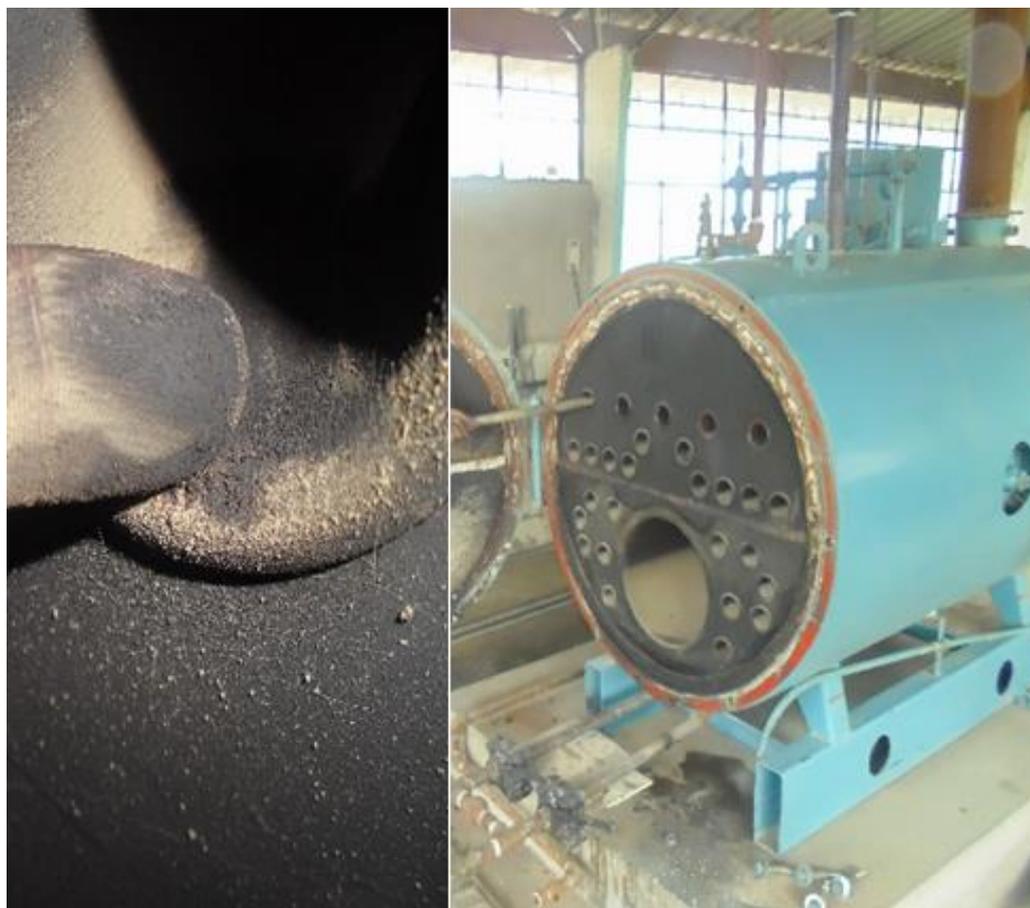
4. MANTENIMIENTO Y PUESTA EN MARCHA.

Se realizaron trabajos de mantenimiento a todos los elementos mecánicos, elementos de control, elementos de seguridad, sistemas auxiliares y mantenimiento de obra civil del caldero, con el fin de garantizar el funcionamiento de todos los elementos los cuales detallaremos a continuación.

4.1 Mantenimiento de elementos mecánicos.

4.1.1 *Mantenimiento de tuberías de fuego.* Se realizaron trabajos de mantenimiento en las tuberías de fuego el cual consistía en la limpieza de hollín y oxido alojado en la tubería, con esto logramos recuperar el área de transferencia de calor del caldero.

Figura 15. Limpieza de tubos de fuego.



Fuente: Autores.

4.1.2 *Mantenimiento de tuberías de agua de suministro.* Se realizaron trabajos de reposición y cambio de tuberías de suministro de agua que se encontraban en mal estado, este trabajo se realizó con el propósito de garantizar el correcto suministro de agua al sistema.

Figura 16. Tuberías de agua.



Fuente: Autores.

4.1.3 *Mantenimiento de tuberías de condensado.* Se realizó la limpieza general del distribuidor y todas las tuberías ya que se encontraban sucias debido al tiempo fuera de mantenimiento, además se cambió las tuberías que se encontraban corroídas en este sistema.

Se colocaron válvulas, filtros, válvulas check, trampa de vapor y tuberías para completar el adecuado funcionamiento del sistema.

Figura 17. Tuberías de condensado.



Fuente: Autores.

4.1.4 *Mantenimiento tuberías de vapor.* Al no existir tuberías de descarga de vapor, el mismo se estaba evacuando de manera peligrosa al ambiente externo del laboratorio para lo cual se realizó la redistribución de la tubería principal de descarga, para que el vapor producido, sea enviado al colchón hidráulico y de esta manera sea evacuado de una manera segura.

Figura 18. Tuberías de vapor



Fuente: Autores.

4.1.5 *Mantenimiento de la carcasa del caldero.* La carcasa se encontraba completamente llena de polvo y partes con presencia de óxido, se realizó una limpieza completa de la carcasa utilizando desoxidante en las partes donde existía presencia de óxido.

Figura 19. Carcasa del caldero



Fuente: Autores.

4.1.6 *Cambio de accesorios.* Varios accesorios como universales, válvulas, codos, se encontraron con alto deterioro debido a la corrosión, por lo que ya no estaban aptos para su uso, los cuales fueron reemplazados.

Figura 20. Accesorios



Fuente: Autores

4.1.7 *Cambio de boquilla de combustible.* Se realizó el cambio de la boquilla de combustible que se encontraba totalmente tapada y no permitía el paso del combustible hacia la cámara de combustión.

Figura 21. Boquilla de combustible



Fuente: Autores

4.1.8 *Calibración de electrodos.* Los electrodos se encontraron descalibrados y sulfatados, por lo que se realizaron trabajos de limpieza y calibración de los electrodos.

Figura 22. Calibración de electrodos



Fuente: Autores

4.1.9 *Mantenimiento de chimenea.* La chimenea se encontraba con presencia de óxido y descubierta, lo que ocasiona que ingrese agua lluvia y polvo al interior del caldero, se realizó una limpieza con desoxidante al tubo de la chimenea, y se colocó un dámper y tapa superior de tipo sombrero chino para proteger que ingrese polvo y agua al interior del caldero.

Figura 23. Chimenea



Fuente: Autores

4.1.10 Limpieza de visores. Se realizó la limpieza de los visores ya que se encontraban completamente sucios, lo cual no permitía que se observe la presencia de llama al interior del hogar del caldero.

Con los visores limpios se puede realizar una calibración de la llama del quemador de una manera visual.

Figura 24. Visor



Fuente: Autores

4.2 Mantenimiento de elementos de control

4.2.1 Mantenimiento de presuretroles. Se realizó una limpieza de las partes mecánicas y se revisaron las conexiones eléctricas.

Figura 25. Presuretroles



Fuente: Autores

4.2.2 *Mantenimiento de McDonell.* Se realizó una limpieza general en el McDonell, revisando cada una de sus partes y verificar el correcto funcionamiento de la boya.

Figura 26. McDonell



Fuente: Autores

4.2.3 *Mantenimiento del presóstato.* Se realizó el cambio del presóstato ya que éste no funcionaba adecuadamente debido a que la bomba de suministro de agua, se estaba encendiendo y apagando constantemente.

Figura 27. Presóstato



Fuente: Autores

4.2.4 *Mantenimiento de controlador.* El controlador honeywell no encendía al caldero ya que éste presentaba muchos errores y nos daba solo señales de alarma, se revisaron las conexiones eléctricas del controlador, además se verificaron que todas sus tarjetas se encuentren funcionando adecuadamente.

Figura 28. Controlador Honeywell

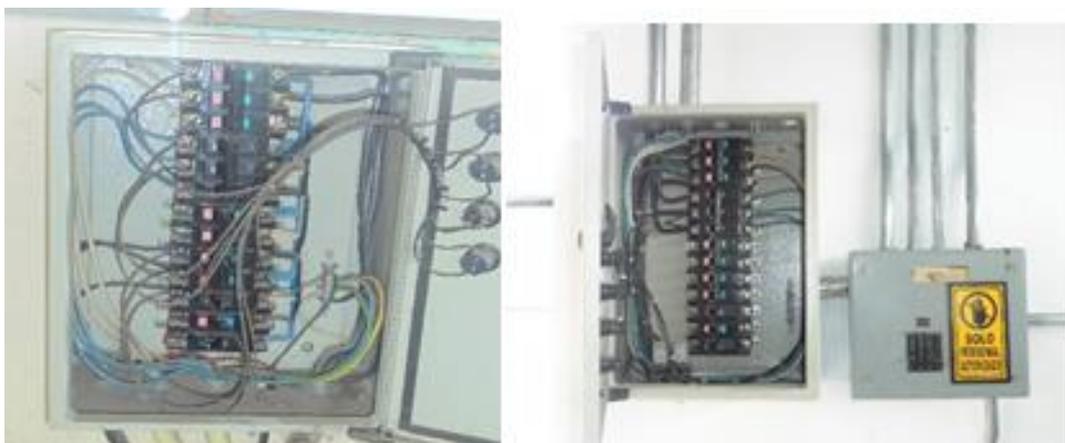


Fuente: Autores

4.2.5 *Mantenimiento del tablero de control.* Los tableros de control eléctrico se encontraban por separado además que no todos sus elementos funcionaban correctamente, se realizó un nuevo tendido eléctrico, y se ubicó los tableros de control juntos para poderlos accionar fácilmente.

La reubicación de los tableros de control favorece a la fácil manipulación y operación de los mismos.

Figura 29. Tablero de control



Fuente: Autores

4.2.6 Cambio de termómetro. Se realizó el cambio del termómetro del tanque de condensado que se encontraba roto.

Figura 30. Termómetro



Fuente: Autores

4.3 Mantenimiento de elementos de seguridad

4.3.1 Mantenimiento de válvulas de seguridad. Las válvulas de seguridad se encontraban remordidas y mal aseguradas, por lo que se realizó una limpieza y correcta colocación de las válvulas.

Figura 31. Válvula de seguridad



Fuente: Autores

4.3.2 *Colocación del “paro de emergencia”*. Se colocó un paro de emergencia en el tablero del caldero.

Figura 32. Paro de emergencia



Fuente: Autores

4.4 **Mantenimiento de sistemas auxiliares**

4.4.1 *Mantenimiento del sistema de ingreso de agua*. La bomba se encontraba remordida motivo por el cual se realizó una limpieza general y se lubricaron sus partes móviles.

Las conexiones eléctricas se encontraban en mal estado, por lo que se realizó el cambio de los conductores y nuevas conexiones.

Se cambiaron accesorios en mal estado para corregir y sellar bien las fugas de agua.

Figura 33. Sistema de ingreso de agua



Fuente: Autores

4.4.2 *Mantenimiento del suministro de combustible.* Se corrigieron fugas de diesel por la purga del porta filtro, se reemplazó el filtro ya que se encontraba saturado.

Se construyó una tapa para protección del tanque de combustible y se reparó la base del tanque de combustible.

Se reacondiciono todo el sistema de tuberías de combustible y se colocó el visor de nivel de combustible.

Las adecuaciones realizadas en el sistema de suministro de combustible fueron elaboradas bajo la norma INEN referente a instalaciones de suministro de combustible.

Figura 34. Suministro de combustible



Fuente: Autores

4.4.3 *Mantenimiento del ablandador de agua.* Se realizaron tareas de mantenimiento correctivo y lubricación de las partes móviles del cabezal del ablandador de agua, también se realizó una limpieza completa del tanque y se colocó todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento.

Las tareas de mantenimiento se ejecutaron de acuerdo a los planes de acción.

Figura 35. Ablandador de agua



Fuente: Autores

4.4.4 *Mantenimiento del distribuidor.* Se realizaron tareas de limpieza de la tubería de distribución de vapor, se corrigió la estructura del mismo para posteriormente proceder a su estabilización y anclaje, además se modificó la distribución de la tubería para la línea principal de vapor, las válvulas de seguridad y condensado, modificaciones que fueron ejecutadas con el fin corregir la situación inicial del mismo, con fines de seguridad, operación y mantenimiento.

Figura 36. Distribuidor



Fuente: Autores

4.4.5 *Mantenimiento del sistema de condensado.* Se realizó el mantenimiento de la bomba y se lubricaron las partes móviles, se cambió las prensaestopas y se ancló el motor, la bomba y se alinearon correctamente, además se realizaron nuevas conexiones eléctricas y por último se realizó la limpieza del visor.

Figura 37. Tanque de condensado



Fuente: Autores

4.4.6 *Mantenimiento del sistema de tratamiento químico.* Se realizó el mantenimiento y lubricación en las partes móviles, se cambiaron accesorios y se corrigieron fugas.

Figura 38. Sistema de tratamiento químico



Fuente: Autores

4.5 Mantenimiento de obra civil.

4.5.1 *Piso.* Se realizaron tareas de limpieza general para posteriormente nivelar y colocar cerámica adecuada para un laboratorio de vapor.

Figura 39. Piso del laboratorio



Fuente: Autores

4.5.2 *Ventanas.* Se realizó una inspección para determinar la cantidad de vidrios que se encontraban en mal estado, resultado de ésta inspección se determinó que era necesario reemplazar 24 vidrios; posteriormente se procedió al reemplazo, como paso siguiente se volvió a pintar las protecciones de la ventanas que por un amplio lapso de tiempo se encontraban descuidadas y finalmente se realizó una limpieza general de los vidrios.

Figura 40. Ventanas del laboratorio



Fuente: Autores

4.5.3 Puerta. La puerta fue reparada realizándose una ligera disminución de su longitud para luego nivelarla puesto que se trababa al momento de abrir, se cambiaron las bisagras y seguridades, posteriormente se volvió a pintar toda la estructura con fines estéticos.

Figura 41. Puerta del laboratorio



Fuente: Autores

4.5.4 Techado. Se realizó una inspección del estado inicial del techado del laboratorio para determinar la existencia de grietas que causaban goteras y se procedió a reemplazar las planchas de eternit que se encontraban rotas, posterior a esto se realizó una limpieza general del techado y se pintó con materiales especiales para exteriores.

Figura 42. Techo del laboratorio



Fuente: Autores

4.5.5 Sistema eléctrico. Se realizó una inspección para determinar el estado de situación inicial de las instalaciones eléctricas, del cual se obtuvo como resultados que existían conductores en mal estado, tuberías eléctricas deterioradas, la alimentación del sistema no era independiente, por lo que se procedió a realizar un nuevo sistema eléctrico, utilizando conductores y tuberías nuevos y de calidad; además se realizó la independización del sistema. Todas las tareas ejecutadas fueron realizadas cumpliendo normas de instalaciones eléctricas.

Figura 43. Sistema eléctrico



Fuente: Autores

4.5.6 Cisterna. Se realizó la limpieza completa de la cisterna, se reemplazó la boya de nivel de agua por un control de nivel accionado eléctricamente, y se sellaron las filtraciones existentes.

Figura 44. Cisterna



Fuente: Autores

4.5.7 Paredes. Las paredes del laboratorio se encontraban deterioradas, por lo que como procedimiento inicial se realizaron labores de limpieza y corrección de fisuras, posteriormente se realizó el empastado general de las paredes del laboratorio tanto internas como externas y luego fueron pintadas.

Figura 45. Paredes



Fuente: Autores

4.5.8 Cubiertas. En la cubierta del laboratorio se encontraron situaciones como los cubre polvo que se encontraban totalmente podridos por ser de madera de aglomerado, los mismos que fueron reemplazados por materiales aptos para exteriores, los mismos que son planchas metálicas de 0,7 mm de espesor, que fueron pintados tanto interior como exteriormente, además se realizó la colocación de silicona fría en los bordes para brindar un mayor sellado y minimizar el ingreso del polvo.

Figura 46. Cubiertas



Fuente: Autores

4.6 Puesta en marcha del caldero.

4.6.1 Pasos para el arranque y apagado del caldero:

- Las personas que van a operar el caldero deben estar familiarizados con el manual de seguridad para la operación y mantenimiento del caldero, y cumplir las recomendaciones ahí descritas.
- Abrir las válvulas de suministro de agua.
- Abrir las válvulas de suministro de combustible.
- Abrir las válvulas del sistema de ablandamiento.
- Verificar que la válvula de paso del tanque de condensado hacia el caldero se encuentre abierta.
- Verificar que la válvula de la línea principal de vapor del distribuidor se encuentre cerrada.
- Abrir las válvulas de purga durante unos 30 segundos para que pueda evacuar los sólidos que se encuentran en el asiento de la caldera, y nuevamente cerrar.
- Mirar que el nivel de combustible sea el necesario para poder arrancar el caldero.
- En el tablero de control activar los dos primeros breakers, y verificar que se haya encendido la bomba del sistema de suministro y la bomba del tanque de condensado.
- Esperar hasta que se desactive la bomba del tanque de condensado automáticamente y verificar en el visor de nivel de agua que se encuentre el agua en el límite adecuado.
- Verificar que no haya fuga de ningún tipo de líquido.
- Verificar que no se encuentre personal muy cerca del caldero o de sus sistemas auxiliares.
- Observar que en el tablero del caldero se encuentre encendido el controlador.
- Cerrar el dámper de entrada de aire.
- Poner en modo ON al interruptor del caldero.
- Después de los 30 segundos de operación del controlador, verificar por medio del visor del quemador, que haya presencia de chispa en los electrodos y posteriormente de llama.
- Una vez que se haya producido la llama, abrir el dámper de entrada de aire.

- Poco a poco ir cerrando la válvula de paso de combustible del quemador hasta que se estabilice la presión en el quemador entre 16 y 18 psi.
- Verificar en la chimenea que sea imperceptible los gases emitidos por el caldero.
- Esperar que el caldero llegue a los 60 psi de presión, y verificar que este se apague automáticamente.
- Para verificar la presencia de vapor en la línea se procede a abrir la válvula de la línea principal de vapor, y se puede observar que la tubería plateada de descarga que se encuentra en el colchón hidráulico está descargando vapor.
- Si se descarga la presión del caldero a 40 psi esta se debe encender automáticamente, y apagarse nuevamente a los 60 psi.
- Si ya se desea apagar el caldero, ésta debe estar cargada de vapor en un rango entre 41 y 60 psi, y ahí proceder a poner en modo OFF al interruptor de la caldera.
- Cerrar el dámper de entrada de aire.
- Cerrar la válvula de la línea principal de vapor.
- Cerrar la válvula del sistema de ablandamiento.
- Cerrar la válvula de suministro de combustible
- Cerrar la válvula de suministro de agua.
- Desactivar los breakers que se encuentran encendidos.

4.7 Análisis predictivo

4.7.1 Análisis termográfico. Una vez realizada la puesta en marcha del caldero, se procedió a verificar su correcto funcionamiento realizando un análisis termográfico, en el cual nos indica mediante termogramas los puntos del caldero en donde tenemos pérdidas de energía, para mayor información de los resultados del análisis termográfico, revisar el anexo R.

4.7.2 Análisis de ultrasonido. Otra técnica para verificar pérdidas de energía, y detectar si existe alguna fuga imperceptible, es el ultrasonido pasivo, por lo que se realizó un análisis donde se efectuó un barrido al caldero y sus sistemas auxiliares y se encontraron varias novedades que se encuentran detalladas en el informe ubicado en el anexo S.

CAPÍTULO V

5. PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Un programa de mantenimiento planificado ayudará a evitar reparaciones costosas, promueve seguridad, y asegura la operación del caldero.

Se recomienda mantener un diario o registro del caldero. El registro de las actividades diarias, mensuales y anuales, proporciona una guía valiosa y ayuda a obtener un servicio económico y duradero del equipo.

Aunque el caldero tiene dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que hacen que la operación sea automática, éstos requieren mantenimiento sistemático y periódico. Cualquier característica “automática” no releva al operador de su responsabilidad, sino que lo libera de efectuar ciertas tareas rutinarias y le proporciona tiempo extra para el cuidado y mantenimiento del caldero.

La limpieza adecuada ayuda a mantener una apariencia profesional del laboratorio de vapor. Solamente personal entrenado y autorizado deberá ser permitido a operar, ajustar o reparar el caldero y equipo relacionado.

El laboratorio de vapor deberá mantenerse libre de todo material o equipo que no sea necesario para la operación del caldero o sistema de calefacción para mejorar los niveles de seguridad.

La habilidad en reconocer ruidos anormales, lectura incorrecta de indicadores, fugas, entre otros, puede ayudar al operador a identificar el comienzo de un funcionamiento defectuoso, permitiendo una acción correctiva inmediata y oportuna que podría evitar reparaciones extensas.

5.1 Codificación de ubicación

El propósito de la codificación de ubicación de los equipos es normalizar el uso de la nomenclatura para identificar un equipo dentro del laboratorio, para este efecto se tomó como referencia la codificación aplicando la normativa ANSI / ISA S 5.1- 1984 (R1992), estableciendo un medio uniforme de designación los equipos y sistemas existentes en el laboratorio.

Tabla 5. Codificación de ubicación

Establecimiento	Facultad	Tipo	Equipo	Código
ESPOCH	Mecánica	Lab. Vapor	Caldero	ESP.MEC.LVAP.CAL01

ESP.MEC.LVAP.CAL01

The diagram shows the code ESP.MEC.LVAP.CAL01 with four arrows pointing to its components: ESPOCH, Mecánica, Laboratorio de vapor, and Caldero.

Fuente: Autores

Posterior a la implementación de una norma que nos permita definir el proceso de codificación se realizó la correcta codificación de los activos del laboratorio de vapor.

Tabla 6. Codificación de activos del laboratorio de vapor

Listado de activos laboratorio de vapor				
ID	Código del activo	Código de ubicación	Descripción	Observaciones
1	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	
2	N/E	ESP.MEC.LVAP.CIS01	Cisterna	
3	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	
4	N/E	ESP.MEC.LVAP.SSC01	Sistema de suministro de combustible	
5	8383	ESP.MEC.LVAP.SAA01	Sistema de Ablandamiento de agua	
6	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	
7	N/E	ESP.MEC.LVAP.DV01	Distribuidor de vapor	
8	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico.	
9	N/E	ESP.MEC.LVAP.TC01	Tableros de control	
10	N/E	ESP.MEC.LVAP.ILU01	Iluminación	

Fuente: Autores

5.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad en los equipos es muy importante determinarlo, de acuerdo a los criterios que se manejan en cada planta; para éste caso se determina la siguiente tabla para poder evaluar cada uno de los factores que influyen en el funcionamiento de los equipos para lo cual tenemos lo siguiente:

Tabla 7. Criticidad

Tabla de valores de criticidad			
1	Impacto ambiental	1	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.
		2	Mínimo daño ambiental sin violación de leyes y regulaciones.
		3	Daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada.
		4	Daños irreversibles al ambiente pero que violen regulaciones y leyes ambientales.
		5	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.
2	Impacto personal	1	Sin impacto en el personal de la planta.
		2	El personal de planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.
		3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.
		4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.
		5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.
3	Impacto a la población	1	Sin efectos en la población.
		2	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.
		3	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.
		4	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.
		5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.
4	Daño a las instalaciones	1	hasta 50 mil
		2	De 500 mil a 5MM
		3	De 5 a 15 MM
		4	De 15 a 50 MM
		5	Mayor de 50 MM
5	Pérdidas de producción	1	Hasta 500 mil
		2	De 500 mil a 5MM
		3	De 5 a 15 MM
		4	De 15 a 50 MM
		5	Mayor de 50 MM
6	Impacto en la calidad	1	Alto impacto
		2	Medio alto impacto

		3	Medio impacto
		4	Bajo impacto
		5	Sin impacto
7	MTBF	1	Es poco probable que ocurra en 1000 años
		2	Es poco probable que ocurra en 100 años
		3	Es poco probable que ocurra en 10 años
		4	Es probable que ocurra algunas veces en 10 años, pero es poco probable que ocurra en un año
		5	Es probable que ocurra varias veces en un año
8	MTTR	1	> 24 horas
		2	> 48 horas
		3	> 72 horas
		4	> 170 horas
		5	> 720 horas
9	Años de funcionamiento	1	De 0 a 3 años
		2	De 3 a 5 años
		3	De 5 a 10 años
		4	De 10 a 20 años
		5	De 20 a 50 años
10	Repuestos	1	Siempre se encuentra en stock
		2	No existe el repuesto, se demora 1 semana en tenerlo en stock
		3	No existe el Repuesto, se demora 1 mes en tenerlo en stock
		4	No existe el repuesto, se demora 3 meses en tenerlo en stock
		5	No existe el repuesto, se demora 6 meses o más en tenerlo en stock

Fuente: CUJAE

5.2.1 Valores de Criticidad. Los valores de criticidad serán evaluados como criticidad alta, media y baja, de acuerdo a los valores estipulados en la siguiente tabla de referencia.

Tabla 8. Valores de criticidad

Valores de criticidad	
Criticidad alta	$35 < C < 50$
Criticidad media	$20 < C < 35$
Criticidad baja	$C < 20$

Fuente: CUJAE

5.2.2 Símbolo de criticidad. Los equipos que se evalúen posteriores a los resultados tendrán el siguiente símbolo tanto en el equipo como en sus respectivas fichas para diferenciar del resto de equipos de la planta.

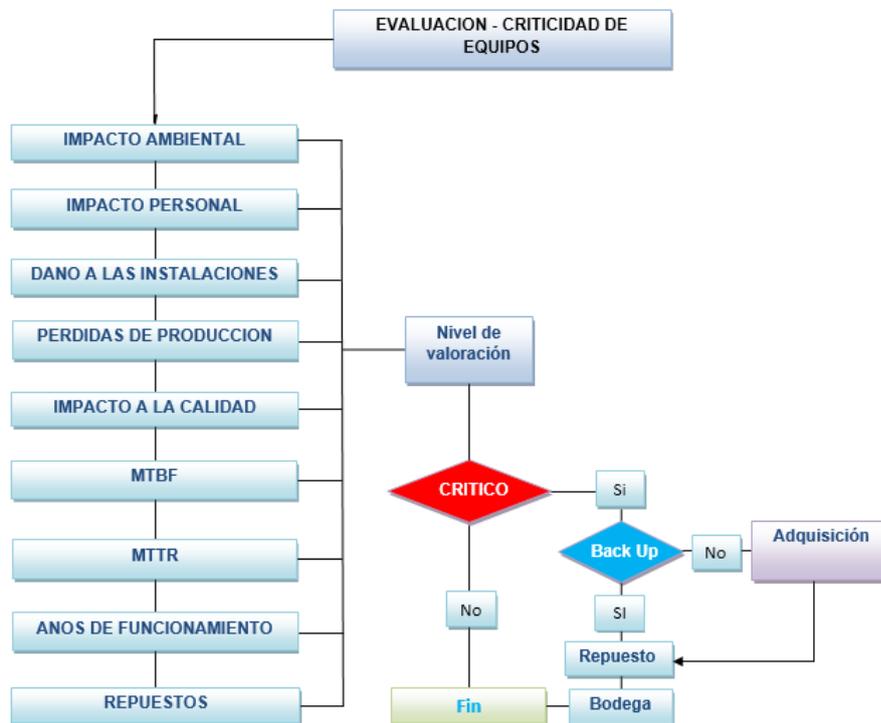
Tabla 9. Representación de criticidad



Fuente: General Motors

5.2.3 *Flujograma de evaluación de criticidad.* Se realizó un diagrama de flujo para evaluar la criticidad en los equipos del laboratorio y obtener los resultados de acuerdo al sistema de valoración antes expuesto.

Figura 47. Flujograma de criticidad



Fuente: Autores

5.2.4 *Análisis de criticidad:*

Con todos los equipos que se tienen en el laboratorio de vapor se realizó una tabla para poderlos analizar y ponderarlos, con esto se obtienen los valores de criticidad, los cuales se encuentran expresados en la siguiente tabla.

Tabla 10. Evaluación de criticidad

 <h2 style="text-align: center;">Evaluación de criticidad</h2> 														
Item	Descripción	Impacto ambiental	Impacto personal	Impacto a la población	Daño a las instalaciones	Pérdidas de producción	Impacto a la calidad	MTBF	MTTR	Años de funcionamiento	Repuestos	Evaluación	Criticidad	
1	Caldero	1	5	5	1	1	3	1	1	1	5	24	⚠	CRITICIDAD MEDIA
2	Cisterna	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	✓	CRITICIDAD BAJA
3	Sistema de ingreso de agua	1	4	1	1	1	1	1	1	1	2	14	✓	CRITICIDAD BAJA
4	Sistema de suministro de combustible	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	14	✓	CRITICIDAD BAJA
5	Sistema de ablandamiento de agua	1	1	1	1	1	5	1	1	1	5	18	✓	CRITICIDAD BAJA
6	Sistema de condensado	1	4	1	1	1	1	1	1	1	5	17	✓	CRITICIDAD BAJA
7	Distribuidor de vapor	1	4	1	1	1	1	1	1	1	2	14	✓	CRITICIDAD BAJA
8	Sistema de tratamiento químico	1	3	1	1	1	1	1	1	1	5	16	✓	CRITICIDAD BAJA
9	Tableros de control	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	13	✓	CRITICIDAD BAJA
10	Iluminación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	✓	CRITICIDAD BAJA

Fuente: Autores

Al analizar los datos se puede notar claramente que el caldero se encuentra en una criticidad media, el resto de sistemas se encuentran en una criticidad baja, cabe destacar que el análisis efectuado difiere de un análisis en un sistema productivo completo ya que algunos parámetros de evaluación no se aplican para el análisis de criticidad del laboratorio.

5.3 Análisis AMEF

La metodología para la realización del análisis AMEF en el presente proyecto se detalla a continuación:

Selección de las máquinas o equipos que serán objeto del análisis AMEF. A través de un estudio realizado mediante herramientas estadísticas, específicamente el diagrama de Pareto si se tuviera un historial de averías.

Identificación de los principales modos, causas y efectos de falla.

Cuantificación de los índices de gravedad, índice de frecuencia e índice de detección.

Elaboración de los formatos de los cuadros AMEF.

Respecto a los Índices de Prioridad de Riesgo deben tener un valor menor a 100 para que sean aceptables si es mayor a éste número es necesario realizar correctivos.

Tabla 11. Índice de gravedad de fallo

Índice de gravedad de fallo		
Gravedad	Criterio	Valor
Muy baja	Consecuencias imperceptibles generalmente no ocasiona un efecto apreciable sobre el rendimiento de la maquina o equipo.	1
Baja	Consecuencias apenas perceptibles. El fallo origina un ligero inconveniente en el servicio. Probablemente se observará un pequeño deterioro del rendimiento de la maquina y/o equipo sin importancia. Es fácilmente remediable.	2-3
Moderada	Consecuencias de relativa importancia. El fallo produce cierto inconveniente en el servicio. Se	4-5

	observará deterior en el rendimiento de la maquina y/o equipo.	
Alta	Consecuencia considerable, el fallo ya produce inconvenientes de elevada importancia en el servicio, el desempeño de la maquina y/o equipo decae de manera importante	6-7
Grave	El fallo puede ser crítico lo cual consigue inutilizar la maquina y/o equipo. Produce un grado de insatisfacción muy alto en el servicio.	8-9
Muy grave	Las consecuencias del fallo son muy críticas que afecta el funcionamiento de seguridad de la maquina y/o equipo lo cual eventualmente pone en riesgo la seguridad de las personas.	10

Fuente: CUJAE

Tabla 12. Índice de frecuencia de fallo

Índice de frecuencia de fallo		
Gravedad	Criterio	Valor
Muy baja	La probabilidad de que ocurra es remota, no se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	La probabilidad de que ocurra es baja, alguna vez ocurrieron fallos pero en casos aislados.	2-3
Moderada	La probabilidad de que ocurra es ocasional, es probable que aparezca eventualmente en la vida útil de la maquina y/o equipo.	4-5
Alta	La probabilidad de que ocurra es con cierta frecuencia, ya se han presentado fallos en el pasado en circunstancias similares.	6-7
Muy alta	La probabilidad de que ocurra es muy alta, el fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado.	8-9
Demasiado alta	La probabilidad de ocurrencia es demasiado frecuente, el fallo es casi inevitable y se producirá casi con total certeza.	10

Fuente: CUJAE

Tabla 13. Índice de detección de fallo

Índice de detección de fallo		
Gravedad	Criterio	Valor
Muy alta	El defecto es obvio puede ser visto a simple vista y es detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto sigue siendo obvio y fácilmente detectable por los controles existentes pero existe la posibilidad que escape a un primer control pero sería detectado por los controles posteriores.	2-3
Mediana	El defecto es moderadamente detectable a simple vista, pero es detectado por los controles posteriores fácilmente.	4-5
Baja	El defecto es de difícil detección con los controles convencionales existentes.	6-7
Muy Baja	La detección del defecto es relativamente improbable, es de muy difícil detección.	8-9
Indetectable	El defecto no puede detectarse y causará daños antes de ser detectado.	10

Fuente: CUJAE

Tabla 14. Análisis AMEF

AMEF del caldero pirotubular de la Facultad de Mecánica								
Componente	Modo de fallo	Efecto de fallo	Acciones a ejecutar	Consecuencia	G	F	D	IPR
Válvula solenoide de combustible	No permite el suficiente paso de combustible	El quemador no enciende	Revisar el montaje de la válvula	Operacional	3	4	5	60
	Incrustaciones	El quemador no enciende	Limpieza de incrustaciones	Operacional	3	3	4	36
	La válvula está defectuosa	El quemador no enciende	Reemplazar la válvula	Operacional	6	6	6	216
	Las conexiones están flojas	El quemador no enciende	Ajustar conexiones flojas	Operacional	6	7	7	294
Bomba de combustible	El filtro de la bomba está saturado	La bomba no funciona	Limpiar filtro de bomba	Operacional	6	5	5	150
	La bomba no eleva presión	La bomba no funciona	Cambiar la bomba	Operacional	6	6	6	216
	La bomba no eleva presión	La bomba no funciona	Rotura de banda	Operacional	7	7	7	343
	La bomba tiene fuga de presión	La bomba no funciona	Corregir fugas de presión	Operacional	4	4	5	80
	Fugas de combustible por conexiones	La bomba no funciona	Corregir fugas de combustible	Operacional	4	3	3	36
Electrodos de ignición	Hay falta de chispa	No hay ignición	Calibrar electrodos	Operacional	6	6	6	216
	El electrodo está conectado a la tierra	No hay ignición	Cambiar porcelana	Operacional	6	6	6	216
	Porcelana rota	No hay ignición	Cambiar porcelana	Operacional	5	5	7	175

	Los terminales del cable de ignición está roto	No hay ignición	Ajustar terminales	Operacional	6	6	6	216
Transformador de ignición	El transformador no funciona	No hay ignición	Revisar transformador de ignición	Operacional	5	5	5	125
	Hay poco voltaje en los terminales de ignición	No hay ignición	Cambiar transformador de ignición	Operacional	5	5	5	125
Sensor de llama	El detector de llama esta defectuoso	El quemador no enciende	Revisar el sensor de llama	Operacional	6	4	6	144
	El sensor de llama esta defectuoso	El quemador no enciende	Limpiar sensor de llama	Operacional	8	7	7	392
Compresor de aire	Falta de aire	El quemador no enciende	Fugas en el sistema	Ambiental	4	5	5	100
	Falta de lubricación	El quemador no enciende	Falta aceite en el sistema	Operacional	4	5	4	80
	No se mueve el compresor	El quemador no enciende	Rotura de banda	Operacional	7	7	7	343
	Filtro saturado	El quemador no enciende	Cambiar filtro	Operacional	5	4	5	100
Boquilla de combustible	No hay paso de combustible	El quemador no enciende	Revisar boquilla de combustible	Operacional	3	3	4	36
	No hay paso de combustible	El quemador no enciende	Filtro de boquilla saturado	Operacional	4	5	4	80
Motor de tiro forzado	El motor no funciona	Falta de aire en el sistema	Revisar las conexiones	Operacional	4	5	5	100
	El motor se apaga durante la pre-purga	Falta de aire en el sistema	Revisar estado del motor	Operacional	4	6	7	168
	El motor se apaga durante la pre-purga	Falta de aire en el sistema	Revisar conexiones eléctricas	Operacional	4	6	7	168

	El controlador está ajustado inadecuadamente	Falta de aire en el sistema	Ajustar controlador	Operacional	6	5	6	180
	Ruido excesivo en ventilador	Falta de aire en el sistema	Ajustar ventilador	Operacional	6	6	5	180
	Ruido excesivo en ventilador	Falta de aire en el sistema	Cambiar rodamientos	Operacional	6	6	6	216
Presuretrol de trabajo	Caldero no se apaga	Exceso de vapor	Contactos de presuretrol sucio	Operacional	3	4	4	48
		Exceso de vapor	Rotura del contacto de mercurio	Operacional	4	4	4	64
Presuretrol de seguridad	Caldero excede la presión de seguridad	Exceso de vapor	Revisar conexiones	seguridad	4	5	5	100
		Exceso de vapor	Revisar contactos de mercurio	seguridad	5	4	4	80
Válvula de seguridad	Válvula de seguridad no se acciona	Exceso de presión	Limpiar válvula de seguridad	seguridad	7	5	5	175
		Exceso de presión	Cambiar válvula	seguridad	6	5	5	150
Controlador	No arranca el controlador	No arranca el caldero	Revisar conexiones eléctricas	Operacional	8	5	6	240
			Revisar el breaker de encendido	Operacional	5	3	7	105

Fuente: Autores

5.4 Resultados del análisis AMEF

Luego de realizar el análisis de modo efecto y falla se puede notar claramente que los repuestos necesarios para el caldero y los más críticos son las bandas de acoplamiento de la bomba de combustible y la banda del compresor de aire de combustión. Además luego de realizar el análisis de las fallas se tienen las tareas a realizarse dentro de los mantenimientos del caldero.

5.5 Procedimientos de mantenimiento

Son procedimientos en donde se establecen las acciones que se deben seguir para realizar el mantenimiento preventivo planificado.

Mediante estos procedimientos de mantenimiento podremos detectar, encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por el personal de mantenimiento, para asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones, edificios, máquinas, equipos, etc.

Para el mantenimiento del laboratorio hemos diseñado cinco procedimientos los cuales detallamos en la siguiente tabla.

Tabla 15. Procedimientos de mantenimiento

Ítem	Descripción	Referencia
1	Limpieza y lubricación	P1
2	Mantenimiento mecánico	P2
3	Mantenimiento eléctrico	P3
4	Monitoreo	P4
5	Reparación general	P5

Fuente: General Motors

Una vez que se definieron los procedimientos de mantenimiento que se ejecutarán se realizaron los respectivos bancos de tareas, para realizar los procedimientos, se tomó en cuenta el manual de mantenimiento del fabricante, así tenemos los siguientes bancos de tareas.

Tabla 16. Limpieza y lubricación

 	EJECUCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Diaria	
	CALDERO		Mensual	
Trimestral				
Semestral			X	
Anual				
Versión 2015	LABORATORIO DE VAPOR			

Procedimiento	P1	Máquina	
Tiempo programado: 120 min		Apagada	X
Tiempo real:		Encendida	

LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN

Herramientas: Kit de herramientas, aceitero, engrasador	Materiales: Grasa, aceite, espátula, guaípe.	Seguridad: Gafas, guantes, casco, zapatos de seguridad.	Equipo:
--	---	--	----------------

Procedimiento:

- Colocarse los EPP adecuados.
- Apagar el equipo.
- Bloquear y etiquetar el equipo.
- Comprobar que no exista ningún tipo de energía en el equipo.
- Retirar tapas de protección en caso de ser necesario.
- Limpiar los sensores.
- Ubicar los puntos de engrase y limpiarlos.
- Colocar grasa en los puntos de lubricación.
- Verificar niveles de aceite si aplica.
- Completar el aceite si aplica.
- Verificar si existe desgaste o condiciones fuera de estándar en el equipo.
- Limpieza general del equipo.
- Colocar todas las protecciones.
- Quitar los bloqueos y etiquetas.
- Comprobar el funcionamiento del equipo.
- Llenar reporte de novedades y bitácora de mantenimiento.

Observaciones:

Fuente: Modificación versión 2010

Tabla 17. Mantenimiento mecánico

 	EJECUCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Diaria	
	CALDERO		mensual	
Trimestral				
semestral			X	
Versión 2015	LABORATORIO DE VAPOR	Anual		

Procedimiento	P2	Máquina	
Tiempo programado:	120 min	Apagada	X
Tiempo real:		Encendida	

MANTENIMIENTO MECÁNICO

Herramientas: Kit de herramientas, aceitero, engrasador	Materiales: Grasa, aceite, guaípe.	Seguridad: Gafas, guantes, casco, zapatos de seguridad.	Equipo:
--	---	--	----------------

Procedimiento:

- Colocarse los EPP adecuados.
- Apagar el equipo.
- Bloquear y etiquetar el equipo.
- Comprobar que no exista ningún tipo de energía en el equipo.
- Retirar tapas de protección en caso de ser necesario.
- Cambio de filtro de combustible si aplica.
- Revisar y ajustar pernos de anclaje que se encuentren ajustados.
- Revisar y ajustar pernos de la carcasa.
- Verificar y corregir fugas.
- Verificar matrimonio motor - bomba si aplica.
- Verificar el estado de bandas y poleas si aplica.
- Verificar si existe desgaste o condiciones fuera de estándar en el equipo.
- Limpieza general del equipo.
- Colocar todas las protecciones.
- Quitar los bloqueos y etiquetas.
- Comprobar el funcionamiento del equipo.
- Llenar el reporte de novedades y bitácora de mantenimiento.

Observaciones:

Fuente: Modificación versión 2010

Tabla 18. Mantenimiento eléctrico

 	EJECUCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Diaria	
	CALDERO		mensual	
Trimestral				
semestral			X	
Version 2015	LABORATORIO DE VAPOR		Anual	

Procedimiento	P3	Máquina	
Tiempo programado:	120 min	Apagada	X
Tiempo real:		Encendida	

MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

Herramientas: Kit de herramientas eléctricas	Materiales: Limpiador de contactos, guaípe.	Seguridad: Gafas, guantes, casco, zapatos de seguridad.	Equipo:
---	--	--	----------------

Procedimiento:

- Colocarse los EPP adecuados.
- Apagar el equipo.
- Bloquear y etiquetar el equipo.
- Comprobar que no exista ningún tipo de energía en el equipo.
- Ubicar las borneras de control y ajustar.
- Ubicar las borneras de fuerza y ajustar.
- Revisar conexiones a tierra de los equipos.
- Revisar el correcto funcionamiento de micros y sensores.
- Revisar el estado del cableado y conexiones eléctricas.
- Colocar limpiador de contactos en las borneras.
- Limpieza general.
- Quitar los bloqueos y etiquetas.
- Comprobar el funcionamiento del equipo.
- Llenar reporte de novedades y bitácora de mantenimiento.

Observaciones:

Fuente: Modificación versión 2010

Tabla 19. Monitoreo

 	EJECUCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Diaria	
	CALDERO		mensual	
Versión 2015	LABORATORIO DE VAPOR		Trimestral	
			semestral	X
			Anual	

Procedimiento	P4	Máquina	
Tiempo programado: 120 min		Apagada	
Tiempo real:		Encendida	X

MONITOREO

Herramientas:	Materiales: Guaípe.	Seguridad: Gafas, guantes, casco, zapatos de seguridad.	Equipo: vibraciones, termografía, ultrasonido, etc.
----------------------	----------------------------	---	---

Procedimiento:

- Colocarse los EPP adecuados.
- Encender el equipo
- Diseñar la ruta de monitoreo de acuerdo a la técnica que se va a realizar.
- Realizar la calibración previa del equipo si aplica.
- Tomar las mediciones acordes a la ruta de monitoreo.
- Documentar los problemas encontrados.
- Apagar el equipo.
- Elaborar informe de monitoreo con las debidas sugerencias.
- Llenar la bitácora de mantenimiento.

Observaciones:

Fuente: Modificación versión 2010

Tabla 20. Reparación general

 	EJECUCIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	Diaria	
	CALDERO		mensual	
Trimestral				
semestral				
Versión 2015	LABORATORIO DE VAPOR	Anual	X	

Procedimiento	P5	Máquina	
Tiempo programado:	120 min	Apagada	X
Tiempo real:		Encendida	

REPARACION GENERAL

Herramientas: Kit de herramientas.	Materiales: Guaípe.	Seguridad: Gafas, guantes, casco, zapatos de seguridad.	Equipo: Calentador de rodamientos.
---	----------------------------	--	---

Procedimiento:

- Colocarse los EPP adecuados.
- Apagar el equipo.
- Bloquear y etiquetar el equipo.
- Comprobar que no exista ningún tipo de energía en el equipo.
- Desconectar las conexiones eléctricas.
- Desmontar los elementos necesarios
- Realizar el cambio de rodamientos, contactores, etc.
- Montaje de todos los elementos.
- Prueba de funcionamiento.
- Limpieza general.
- Quitar los bloqueos y etiquetas.
- Comprobar el funcionamiento del equipo.
- Llenar reporte de novedades y bitácora de mantenimiento.

Observaciones:

Fuente: Modificación versión 2010

5.6 Plan maestro anual de mantenimiento

Una de las partes importantes en la planificación del mantenimiento es definir los tipos de mantenimiento que van a intervenir en los activos, además se debe definir la frecuencia de cada procedimiento de mantenimiento los cuales en nuestro caso se ha tomado semestral y anualmente con el fin de coordinar procedimientos con cada semestre para que estos sirvan de manera práctica y educativa a los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

Tabla 21. Plan de mantenimiento

Plan de mantenimiento						
Ítem	Código	Cód. de Ubicación	Activo	Proc.	T. (h)	Fr. (sem)
1	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	P1	2	26
2	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	P2	2	26
3	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	P3	2	26
4	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	P4	2	26
5	8372	ESP.MEC.LVAP.CAL01	Caldero	P5	2	52
6	N/E	ESP.MEC.LVAP.CIS01	Cisterna	P1	2	26
7	N/E	ESP.MEC.LVAP.CIS01	Cisterna	P3	2	26
8	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	P1	2	26
9	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	P2	2	26
10	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	P3	2	26
11	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	P4	2	26
12	8385	ESP.MEC.LVAPI.SIA01	Sistema de ingreso de agua	P5	2	52
13	N/E	ESP.MEC.LVAP.SSC01	Sistema de suministro de combustible	P1	2	26
14	N/E	ESP.MEC.LVAP.SSC01	Sistema de suministro de combustible	P2	2	26
15	8383	ESP.MEC.LVAP.SAA01	Sistema de ablandamiento de agua	P1	2	26
16	8383	ESP.MEC.LVAP.SAA01	Sistema de ablandamiento de agua	P2	2	26
17	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	P1	2	26

18	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	P2	2	26
19	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	P3	2	26
20	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	P4	2	26
21	8376	ESP.MEC.LVAP.SC01	Sistema de condensado	P5	2	52
22	N/E	ESP.MEC.LVAP.DV01	Distribuidor de vapor	P1	2	26
23	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico	P1	2	26
24	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico	P2	2	26
25	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico	P3	2	26
26	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico	P4	2	26
27	8379	ESP.MEC.LVAP.STQ01	Sistema de tratamiento químico	P5	2	52
28	N/E	ESP.MEC.LVAP.TC01	Tableros de control	P1	2	26
29	N/E	ESP.MEC.LVAP.TC01	Tableros de control	P3	2	26
30	N/E	ESP.MEC.LVAP.TC01	Tableros de control	P4	2	26
31	N/E	ESP.MEC.LVAP.TC01	Tableros de control	P5	2	52
32	N/E	ESP.MEC.LVAP.ILU01	Iluminación	P3	2	26
33	N/E	ESP.MEC.LVAP.ILU01	Iluminación	P5	2	52

Fuente: Autores

Luego de generar un plan de mantenimiento se debe definir el plan maestro anual de mantenimiento en el cual deben constar todos los procedimientos de mantenimiento conforme a sus frecuencias y dividido por semanas, ya que esto permite visualizar cuales son las horas hombre por personas necesarias para ejecutar labores de mantenimiento, en nuestro caso se hizo coincidir procedimientos secuencialmente tomando en cuenta las prácticas de laboratorio para la ejecución por parte de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

Tabla 22 Plan maestro anual de mantenimiento

Fuente: Autores

Para observar mejor el plan maestro anual de mantenimiento, revisar el anexo L.

5.7 Bitácora de mantenimiento

Para el registro de todas las anomalías ocurridas en el laboratorio de vapor se realizó una bitácora en donde se registrarán todas las fallas ocurridas con esto se garantizara tener un historial y con estos datos poder evaluar el comportamiento del caldero a través del tiempo lo cual es muy importante en la mejora continua del mantenimiento.

Tabla 23. Bitácora de mantenimiento

BITÁCORA DE MANTENIMIENTO											
MEJORAMIENTO CONTINUO											
FECHA	MES	HORA PARA	TURNO	TIEMPO (minutos)	LINEA PARA	TIPO DE FALLA	AREA	EQUIPO AVERIADO	EQUIPO TRABAJADO	NOMBRE EQUIPO DE TRABAJO	DESCRIPCION DE LA PARA
20-Jul	7	8:30	1T	65	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	No llega 24V al contactor de la mesa rotillos.
20-Jul	7	17:00	2T	12	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	caja del tacle posterior con rodamientos 7303 rotos. Se cambia rodamientos
21-Jul	7	7:00	1T	12	ELPO	FALLA DE PROCEDIMIENTO ARRANQUE	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Grupo de aporte no fue encendido en el arranque.
21-Jul	7	7:00	1T	18	PRIMER	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Sensor de llama defectuoso.
21-Jul	7	21:00	2T	6	PRIMER	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	Se cambia de bomba de combustible por fuga, se tiene problemas al calibrar el quemador.
22-Jul	7	12:00	1T	7	SELLADO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Se traban dos dollys en la primera curva.
22-Jul	7	16:00	2T	42	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	Se rompe mordaza inferior. Perros rotos. Cambio por mordaza pinza stand by.
22-Jul	7	17:00	2T	30	ESMALTE	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	Se rompen las bandas.
23-Jul	7	12:00	1T	8	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Entra en avería al llegar a la pinza de k; se manipula el tablero de la pinza y el tablero del cargobus.
27-Jul	7	8:30	1T	60	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Rodamientos dañados del sieme de traslación que viaja sobre el EPN de la atreovilla.
27-Jul	7	12:00	1T	15	ESMALTE	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Caída de tensión se apagan los extractores.
27-Jul	7	18:00	2T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	Se que al salir de la cuba luego del proceso , daño cotolector lenta M2.
27-Jul	7	19:00	2T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	Entra en avería ET0 y no ingresa la unidad hasta la ET1.
29-Jul	7	9:30	1T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Presenta avería en la zona de carga y descarga, baja totalmente los rieles.
29-Jul	7	17:00	2T	18	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	se queda activado el relé de bajar tacle posterior y no reconoce la velocidad lenta en la ET01.
29-Jul	7	17:00	2T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T03	THE ISLANDS	se cae la base que detecta la posición del skid.
31-Jul	7	7:00	1T	20	PRIMER	FALLA DE PROCEDIMIENTO ARRANQUE	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Se encuentra en posición OFF selector principal del tablero.
31-Jul	7	11:00	1T	6	SELLADO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Pierde comunicación al ingresar al transfer de entrada.
31-Jul	7	13:00	1T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Reproceso por daño en unidad.
03-ago	8	13:00	1T	18	ELPO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Se queda accionado brazo no pasa carrocería a la siguiente mesa
04-ago	8	11:00	1T	6	ELPO	FALLA DE EQUIPO ELECTRICIO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Se apaga neoflicador
04-ago	8	10:00	1T	6	PRIMER	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Problema de curado por aparente baja temperatura del quemador #2.
06-ago	8	9:00	1T	12	PRIMER	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Desbalanceo de cabina de primer se balancea grupo de aporte con 52kg; y extraccion se deja en 54
07-ago	8	10:00	1T	6	SELLADO	FALLA DE EQUIPO MECANICO	MITO	CALDERA	PMN1 T02	GEM	Rotura de rueda guía lateral del trole que soporta el motorreductor de traslación.

Fuente: Autores

Para revisar mejor la bitácora de mantenimiento, ir al anexo M.

5.8 Orden de trabajo

La orden de trabajo utilizada por la Facultad de Mecánica será la siguiente:

Tabla 24. Orden de trabajo

 		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
		FACULTAD DE MECÁNICA			
ORDEN DE TRABAJO				No.	
PRIORIDAD	NORMAL	IMPORTANTE	URGENTE		
REFERENCIAS:					
UBICACIÓN TÉCNICA		EQUIPO		PARTE PRINCIPAL	
FECHA DE INICIACIÓN			FECHA DE TERMINACIÓN		
TIPO DE ACTIVIDAD					
PROGRAMADO				PREDICTIVO	
CORRECTIVO				EMERGENCIA	
SOLICITA			EJECUTA		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:					
DATOS ADICIONALES:					
MATERIALES	CANT.	REPUESTOS	CANT.	HERRAMIENTAS	CANT.
PERSONAL REQUERIDO					
ELÉCTRICO		ELECTRÓNICO		MECÁNICO	
OBSERVACIONES GENERALES:			OBSERVACIONES DE SEGURIDAD:		
EMITE		APRUEBA		CIERRA	
Nombre:		Nombre:		Nombre:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
_____ TÉCNICO DE MTTO		_____ JÉFE MTTO		_____ DECANO	

Fuente: Modificación versión 2010

5.9 Elaboración de un manual de seguridad.

Para operar y realizar las tareas de mantenimiento en el caldero y en los sistemas auxiliares del mismo, se debe tomar en cuenta las normas que se encuentran en el manual de seguridad, además ahí podemos observar que equipos de protección personal son los que debemos utilizar para las diferentes tareas.

Es necesario que antes de la operación del caldero se socialice este manual para que tanto el docente como el estudiante tengan presentes los riesgos que pueden tener al momento de manipular la caldera.

Para mayor información del manual de seguridad por favor revisar el anexo N.

5.10 Elaboración de guías de laboratorio

En el presente trabajo se elaboraron guías de laboratorio para la ejecución de reconocimiento de las partes constitutivas del caldero que se encuentra en el anexo O. Para el arranque y apagado del caldero que se encuentra en el anexo P. Y para el mantenimiento del caldero que se encuentra en el anexo Q. Los cuáles serán muy útiles para la elaboración de prácticas por parte de los estudiantes.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se puso en marcha el caldero de la Facultad de Mecánica, analizando el estado de cada uno de los sistemas y elementos que componen a la caldera, a través de un análisis de estado de situación inicial.

Se realizaron mediante estos resultados, trabajos de mantenimiento correctivo para poner en marcha el caldero pirotubular.

Se realizó la respectiva codificación de los activos presentes en el laboratorio además de un análisis de criticidad de los activos para con estos resultados poder realizar la planificación del mantenimiento.

Se elaboró la planificación del mantenimiento con frecuencias de mantenimiento y balance de cargas de trabajo para que estas coincidan con horas de clase y puedan ser realizadas prácticas en el caldero.

Se realizó una guía de operación práctica del caldero la cual servirá para la manipulación de los estudiantes de la Facultad de Mecánica.

Se elaboró una guía práctica de mantenimiento para procedimientos de mantenimiento preventivos y predictivos con los cuales se podrá garantizar el funcionamiento del caldero.

Se elaboró un manual de seguridad para la operación del caldero pirotubular de la Facultad de Mecánica.

6.2 Recomendaciones

Seguir los procedimientos tomando en cuenta el plan de mantenimiento, ya que esto garantizará el éxito de las mismas.

Adquirir un kit de herramientas básico e instrumentos de medida (Multímetro), para el laboratorio de vapor por ser indispensables para una correcta ejecución de los trabajos de mantenimiento.

El personal encargado de mantenimiento debe llenar la bitácora de mantenimiento y los demás documentos de gestión, por ser ésta la base con la que se llevará un historial de vida y actividades en cada uno de los equipos.

Realizar una prueba hidrostática en el caldero para garantizar que no existan fugas de presión de vapor en el lado de agua, y documentar los resultados obtenidos.

Realizar un análisis químico del agua del caldero, y colocar el químico adecuado para el tratamiento de sólidos en suspensión.

Se recomienda colocar manómetros en el filtro de combustible así como en la bomba del tanque de condensado.

Realizar la compra y colocación de un termómetro para la chimenea del caldero para medir la temperatura de los gases de combustión del caldero.

Adquirir los repuestos principales como bandas y los filtros del caldero, para tener un stock adecuado de repuestos y garantizar su inmediato reemplazo en caso de ser requeridos.

Se recomienda elevar gradualmente la presión de vapor en el caldero, debido a que el activo se encontraba en desuso por un periodo de tiempo prolongado.

Realizar la calibración del quemador utilizando el analizador de gases para obtener la mayor eficiencia en la combustión del caldero.

BIBLIOGRAFÍA

ATTRIBUTION-COMMERCIAL. 2010. [Online] 2010. [Cited: 12 12, 2014.]
<http://www.scribd.com/doc/39783301/Combustion>.

ELECTROINDUSTRIAL. 2009.
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1135&tip=7>. 2009.

GARCIA, Ricardo. 2001.
<http://kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>. 2001.

GRANET, Irving. 1988. *Termodinámica*. México : Hall Hispanoamericana SA., 1988.

KOHAN, A. L. 2000. *Manual de calderas*. España : Mc GRAW-HILL, 2000.

KREITH, Frank. 1970. *Principios de transferencia de calor*. Mexico : Herrera Hnos., 1970.

MANTENIMIENTO CIVIL. 2010.
<http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimiento-rehabilitacion/mantenimiento-rehabilitacion.shtml>. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de 12 de 2014.]
<http://www.monografias.com/trabajos25/mantenimiento-rehabilitacion/mantenimiento-rehabilitacion.shtml>.

MANTENIMIENTO PLANIFICADO. 2010. Mantenimiento planificado. *Mantenimiento planificado*. [En línea] 12 de 02 de 2010. [Citado el: 12 de 12 de 2014.]
(http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/ariel%20ZYLBERBERG/RCM_Scorecard_overview.pdf)..

MOUBRAY, John. 1996. *Reliability centered Maintenance*. New York : Industria press Inc, 1996.

SELMEC. 1976. *Manual de calderas Cleaver Brooks*. Mexico : IMPREDIT SA., 1976.

TEXTOS CIENTIFICOS. 2006. Textos científicos. [En línea] 2006. [Citado el: 12 de 12 de 2014.] <http://www.textoscientificos.com/quimica/combustion..>