

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA.

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A CALDERA
ACUOTUBULAR DE MEDIA PRESIÓN.

Trabajo de titulación para optar al título de Técnico
Universitario en MECÁNICA INDUSTRIAL.

Alumnos:

Jorge Vargas Constanzo.

Sebastián Yáñez Jiménez.

Profesor guía:

Marcelo Quiroz Neira.

RESÚMEN.

KEYWORDS: CALDERA, MANTENIMIENTO, FALLAS.

Cómo es sabido, una caldera generadora de vapor es un equipo de gran importancia en el ámbito industrial y de producción, desde centrales térmicas hasta calefacción de viviendas u hospitales, dado esto, su operación es durante prolongados tiempos con una larga vida útil, y qué como cualquier equipo donde su funcionamiento es constante, es probable que se presenten múltiples fallas y problemas que no solo afecten el proceso para el cual fue asignado, sino también la calidad operacional, pérdidas de tiempo, costos de producción e incluso perdidas de personal humano.

Es por esta razón que en base a la investigación se recopiló los antecedentes necesarios para exponer sobre las características de una caldera generadora de vapor, fundamentos físicos y químicos, componentes principales y accesorios como también el valor que se le asigna como un equipo de producción fundamental para llevar a cabo procesos de generación de energía de acuerdo con el requerimiento.

De la misma forma se presentan las fallas y averías más frecuentes que se pueden presentar antes, durante y después de un funcionamiento prolongado, sus causas y como evitarlas, con el objetivo de que en base a la inspección saber ejecutar y gestionar un plan de mantenimiento idóneo en base a la criticidad del equipo.

La gestión de un plan de mantenimiento en base a la inspección e identificación de sus averías es el cimientó de esta investigación, debido a la importancia y beneficios que esta materia posee, identificando de manera preventiva las actividades que se deben tomar para corregirlas a través del tiempo y de la misma forma mantener la calidad operacional, de funcionamiento y de producción.

ÍNDICE.

PORTADA

RESUMEN

ÍNDICE

SIGLAS Y SIMBOLOGIA

INTRODUCCIÓN.....1

OBJETIVOS. 2

 OBJETIVO GENERAL. 2

 OBJETIVOS ESPECIFICOS. 2

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES. 3

1. ANTECEDENTES GENERALES. 4

1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA.....4

1.2 DESARROLLO HISTORICO.....4

 1.2.1 Fundamentos de la generación de vapor.....5

 1.2.2 Definiciones de operación. 7

1.3 GENERALIDADES DE UNA CALDERA. 8

 Según posición: 10

 Según instalación: 10

 Según ubicación del hogar: 10

 Según circulación de los gases: 10

 Según su forma de calefacción: 11

 Según presión: 11

 Según volumen de agua en relación con su superficie de calefacción: 11

Según tipo de combustible:	11
1.3.1 Caldera acuotubular de media presión.....	12
Ventajas de la Caldera Acuotubular.	13
1.3.2 Componentes principales de una Caldera Acuotubular.	13
1.3.3 Reglamento de Calderas según DS10.	17
1.3.3.1 Relativo al registro e identificación de la caldera.....	17
1.3.3.2 Relativo a la sala de calderas.	18
1.3.3.3 Relativo al suministro de agua.	18
1.3.3.4 Relativo a accesorios de observación, seguridad y control automático.	19
1.3.3.5 Relativo a revisiones y pruebas de las condiciones de seguridad de las calderas de vapor.....	19
1.3.3.6 Relativo a los combustibles.....	20
1.3.3.7 Relativo a los profesionales facultados para verificar las condiciones generales de instalación y realizar las revisiones y pruebas.	21
1.3.3.8 Relativo a los operadores de caldera.....	21
CAPITULO 2: IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN CALDERAS.	22
2. IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN CALDERAS.	23
2.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA.....	23
2.2 ANALISIS DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI-API RP 580). 24	
2.2.1 Metodología de RBI.....	25
Diseño.....	26
Construcción.	26
Instalación.	26
Mala mantención.....	27
2.3 SITUACIONES DE PELIGRO EN LAS CALDERAS.	27

2.3.1	Falta de agua en la caldera.	27
2.3.2	Exceso de agua en la caldera.	28
2.3.3	Fallas en los tubos.	29
2.3.4	Retorno de la llama.	30
2.3.5	Vibraciones en la caldera.	31
2.3.6	Formación de hollín.	31
2.3.7	Problemas causados por impurezas del agua.	31
2.3.8	Rotura de tubos de nivel.	32
2.3.9	Aumento y baja de presión de la caldera.	32
2.3.10	Incendio en Sala de Caldera.	33
2.3.10.1	Química del fuego y métodos de extinción.	34
2.3.10.2	Clases de fuego.	34
2.3.10.3	Agentes extintores.	34
2.3.11	Explosiones de Calderas.	35
CAPITULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO.		42
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO.	43
3.1	PRESENTACION DEL TEMA.	43
3.2	QUÉ ES EL MANTENIMIENTO.	43
3.3	TIPOS DE MANTENIMIENTO.	45
3.3.1	Mantenimiento preventivo.	45
3.3.2	Mantenimiento correctivo.	45
3.3.3	Mantenimiento predictivo.	45
3.3.4	Mantenimiento cero horas (overhaul).	46
3.3.5	Mantenimiento en uso.	46
3.4	METODOLOGIAS DEL MANTENIMIENTO.	46
3.5	EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO. ...	48

3.5.1	Mantenimiento predictivo.	49
3.5.2	Técnicas para realizar el mantenimiento predictivo.	49
3.5.2.1	Análisis de vibraciones.	49
3.5.2.2	Termografía.....	50
3.5.2.3	Ultrasonido.....	51
3.5.2.4	Boroscopia.	52
3.5.3	Mantenimiento preventivo.	53
3.5.3.1	Mantenimiento preventivo diario.	53
3.5.3.2	Mantenimiento preventivo (3 días).	53
3.5.3.3	Mantenimiento preventivo semanal.....	54
3.5.3.4	Mantenimiento preventivo quincenal.	54
3.5.3.5	Mantenimiento preventivo mensual.	54
3.5.3.6	Mantenimiento preventivo trimestral.....	55
3.5.3.7	Mantenimiento preventivo semestral.....	55
3.5.3.8	Mantenimiento preventivo anual.....	56
3.5.4	Protocolo de operación y funcionamiento.	57
CONCLUSIONES.		59
BIBLIOGRAFÍA.....		60
LINKOGRAFÍA.....		60

ÍNDICE DE FIGURAS.

- Figura 1-1:** Componentes de Caldera Acuotubular.
- Figura 1-2:** Funcionamiento de Caldera Acuotubular.
- Figura 1-3:** Caldera Acuotubular.
- Figura 1-4:** Caldera y sus accesorios.
- Figura 2-1:** Niveles de criticidad.
- Figura 2-2:** Explosión de caldera por agrietamiento cáustico.
- Figura 3-1:** Analizador de vibraciones FLUKE 810.
- Figura 3-2:** Cámara termográfica TiS75+.
- Figura 3-3:** Equipos de Ultrasonido.
- Figura 3-4:** Boroscópio portátil.

ÍNDICE DE TABLAS.

- Tabla 2-1:** Trouble Shooting de Caldera Acuotubular.
- Tabla 3-1:** Plan de mantenimiento predictivo.
- Tabla 3-2:** Plan de mantenimiento preventivo diario.
- Tabla 3-3:** Plan de mantenimiento preventivo 3 días.
- Tabla 3-4:** Plan de mantenimiento preventivo semanal.
- Tabla 3-5:** Plan de mantenimiento preventivo quincenal.
- Tabla 3-6:** Plan de mantenimiento preventivo mensual.
- Tabla 3-7:** Plan de mantenimiento preventivo trimestral.
- Tabla 3-8:** Plan de mantenimiento preventivo semestral.
- Tabla 3-9:** Plan de mantenimiento preventivo anual.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA.

Siglas.

- ❖ ACHS: Asociación Chilena de la seguridad.
- ❖ DS: Decreto supremo.
- ❖ ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización).
- ❖ ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad americana de ingenieros mecánicos).
- ❖ ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad americana para pruebas y materiales).
- ❖ API: American Petroleum Institute (Instituto americano del petróleo).
- ❖ RBI: Risk Based Inspection (Inspección basada en riesgo).
- ❖ TPM: Mantenimiento productivo total.
- ❖ RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad.
- ❖ EPP: Elementos de protección personal.
- ❖ MINSAL: Ministerio de salud.
- ❖ ACHS: Asociación chilena de seguridad.

Simbología.

- ❖ Mm: Milímetro.
- ❖ Kg: Kilogramos.
- ❖ Cm: Centímetros.
- ❖ M: Metros.
- ❖ L: Litros.
- ❖ °C: Grados centígrados.
- ❖ °F: Grados Fahrenheit.
- ❖ Lb: Libra.
- ❖ CO₂: Dióxido de carbono.
- ❖ NTU: Nephelometric Turbidity Unit (Unidad nefelométrica de turbidez).
- ❖ Ppm: Partes por millón.
- ❖ CaCO₃: Carbonato de calcio.
- ❖ μS: Siemens.
- ❖ NCh: Norma chilena.

INTRODUCCIÓN.

Las necesidades humanas se pueden satisfacer solamente a través del crecimiento industrial y esto se apoya grandemente en las industrias que generan dichos procesos industriales en donde el vapor se utiliza en casi todas las industrias y los generadores de vapor, las calderas recuperadoras de calor son vitales para las plantas de potencia y de procesos, es por ello por lo que las calderas forman una parte esencial de cualquier sistema de cogeneración.

La generación de vapor, tiene como lugar enormes pérdidas de energía utilizables y esto, junto con el enorme potencial de ahorro de energía que puede derivarse de su diseño y operación, principalmente en efectuar un plan de mantenimiento predictivo y preventivo posteriormente para llevar a cabo un funcionamiento correcto, sin duda, nos señala la necesidad de profundizar y actualizar los conocimientos para optimizar el rendimiento energético de las calderas que ciertamente va asociado a los riesgos de una planta térmica, ya que al ser ineficiente, se pueden presentar diversos factores en la operación y control al disminuir su fiabilidad durante un proceso continuo de generación de energía y por ende costos y consecuencias graves en vidas humanas y daño a la infraestructura de la empresa.

Es por esto, que, a raíz de este trabajo de investigación es importante señalar y destacar el cumplimiento del reglamento de los generadores de vapor en todos sus aspectos y partes, en especial la certificación del operador según la presión de trabajo, certificación de las pruebas reglamentarias y las normativas de registro del servicio de salud para así aplicarlo al momento de ser necesario en cualquier tipo de caldera generadora de vapor y elaborar un plan de mantenimiento optimo con la información recopilada, para así mantener las condiciones del equipo bajo la normativa actual de funcionamiento y evitar la falla o detenciones imprevistas lo más posible.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Generar un plan de mantenimiento estándar para caldera acuotubular de media presión con el fin de mantener continuidad operacional previo y posterior a la falla.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Dar a conocer qué es una caldera generadora de vapor, funcionamiento, componentes y equipos, principalmente de tipo acuotubular de media presión.
- Identificar principales causas de fallas de una caldera generadora de vapor de media presión mediante un análisis de inspección basado en riesgo para ejecutar respectivo plan de mantenimiento.
- Elaborar plan de mantenimiento predictivo y preventivo definiendo metódicamente los procedimientos para una correcta realización de la mantención.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA.

Es importante saber y conocer un equipo el cual su funcionamiento posee múltiples beneficios para la producción, debido a que el vapor es usado en la industria por lo económico y conveniente que puede resultar como fuente de energía motriz y calor.

En diversos casos, la generación de vapor es llevado a su consumo para el máximo aprovechamiento de su fuerza y calor, es por esa razón que se da la instancia para investigar en detalle sobre los equipos generadores de vapor como lo es la caldera, además de las características legales sobre su instalación, componentes principales, funcionamiento, clasificación y los procesos físicos que están involucrados.

1.2 DESARROLLO HISTORICO.

En los Estados Unidos se desarrolló primeramente la caldera pirotubular, probablemente por la sencillez de fabricación, Hasta 1880 sólo se usaron calderas con hogares alimentados a mano y a la presión del vapor no rebasaba de los 9 kg/cm². La máxima cantidad de carbón que se quemaba era de 122 kg/m² de parrilla/hora si se usaba antracita y de 200 Kg si se quemaba hulla. Tal como se construían las calderas no excedían los 84 m² de superficie de calefacción por medio de anchura del hogar. Considerando que el coste de la energía era el menor de la producción se dio poca importancia al rendimiento de la caldera. Este variaba entre 50 y 65%.

Con la instalación de la caldera de Pearl Street en Nueva York se introdujo el uso del hogar mecánico y de la caldera acuotubular, aumentándose la presión hasta 14 kg/cm². Entonces se advirtió la necesidad de obtener potencia más barata y empezó a aumentarse la presión y la temperatura. Las presiones han llegado hasta 180 kg/cm² y las temperaturas hasta 500 °C. Los rendimientos han aumentado, principalmente por la recuperación del calor (economizadores y calentadores de aire), hasta un 85%.

1.2.1 Fundamentos de la generación de vapor.

Antes de conocer lo que es un generador de vapor o una caldera, clasificación o accesorios, es necesario conocer el proceso físico de la generación de vapor y sus conceptos como temperatura, presión, calor, etc.

El vapor es usado en la industria por lo conveniente y económico para el transporte de energía y calor. La energía del combustible es traspasada mediante el proceso de combustión al agua y así vaporizarla. El vapor generado es llevado a los puntos de consumo para el uso de su fuerza o poder calorífico.

Para comprender de mejor manera en teoría básica la generación de vapor, lo llevaremos a la práctica de manera sencilla.

Si cierta cantidad de agua se coloca en un vaso abierto y puesta después en contacto con una llama o fuente de calor, este se trasmite al agua a través de las paredes del vaso. La temperatura del agua subirá sin experimentar un cambio de estado hasta los 100 °C. A esta temperatura el agua hervirá a presión normal durante todo el tiempo que el vaso esté abierto, aun que se aplique más calor.

Si el vaso es cerrado, y el vapor no tiene salida, la temperatura y la presión ascienden por la formación vapor. Mientras más tiempo se calienta, más aumentará la temperatura y presión.

Cuando se quita la fuente de calor, el vapor baja su temperatura por lo cual se condensa y vuelve nuevamente al estado líquido.

Una vez analizado este proceso de generación de vapor, podemos definir sus conceptos elementales como:

- Sistema de Vapor: El sistema de vapor es el conjunto de equipos e instalaciones que se emplean para generar y distribuir vapor, lo cual el equipo principal del sistema de vapor es la caldera.
- Vaporización: La vaporización del agua es el paso de estado líquido al estado de vapor. Se produce por evaporación o por ebullición.
- Evaporización: Es la producción lenta de vapor en la superficie libre de un líquido y se realiza a cualquier temperatura, tiene una presión menor que la atmosférica.
- Tiro: Se define como la depresión que contribuye el paso de los gases a través de la caldera, existen 3 clases de tiro, natural, inducido y forzado.

- Tiro natural: Se debe principalmente a la altura de la chimenea y a la diferencia de densidad entre los humos de combustión dentro de la chimenea y el aire exterior, cuanto más calientes son los humos, menos densos y más ligeros son, luego el aire exterior expulsa los humos fuera de la chimenea.
- Tiro inducido: Es la corriente de aire que se obtiene en la chimenea por la succión que ejerce un soplador instalado en la base de esta.
- Tiro forzado: Es la corriente de aire que se obtiene en la chimenea por el inyector de aire a la cámara de combustión por medio de un soplador.
- Calor: Es una forma de energía que se transmite debido a la diferencia de temperatura, se manifiesta dilatando los cuerpos, fundiendo los sólidos y evaporando los líquidos. Todo cuerpo capaz de calentar a otro se le considera como fuente de calor la cual puede transmitirse por conducción, radiación y convección.
- Vapor saturado: El vapor producido a la temperatura de ebullición correspondiente a su presión se denomina saturado, el cual puede estar exento completamente de partículas de agua sin vaporizar, el vapor puede presentarse de forma seca o húmeda.
- Vapor sobrecalentado: Si el vapor de agua saturado se le añade calor adicional, manteniendo constante su presión, se puede obtener un vapor seco a mayor temperatura.
- Presión de diseño: Presión utilizada en el diseño de una caldera, o equipo que utiliza vapor de agua.
- Presión de trabajo: Presión requerida por el proceso, que puede ser igual o inferior a la presión máxima de trabajo de una caldera.
- Presión máxima de trabajo: Presión límite a la que puede trabajar con seguridad una caldera.
- Superficie de calefacción: Superficie de transferencia de calor de una caldera, que está en contacto con los gases y humos de combustión, por un lado, y con un fluido por el otro.
- Temperatura: Nos indica el grado de calor a que se encuentra un cuerpo con respecto a otro.

- Medición y unidades: La temperatura se mide en grados siendo los más usados los grados centígrados o Celsius (°C) en sistema métrico y los grados Fahrenheit (°F) en sistema inglés.
- Instrumentos de medición: La temperatura se mide por medio de termómetros, siendo el más usado el de Mercurio y además pirómetros utilizados para temperaturas sobre 500 °C.
- Combustión: Se llama combustión a la acción y efecto por la cual las sustancias combustibles reaccionan con el oxígeno desarrollando luz y calor.
- Poder calorífico: Es la cantidad de calor que se obtiene al quemar un kilogramo de dicho cuerpo.

1.2.2 Definiciones de operación.

- ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (*American Society of Mechanical Engineers*). Es una asociación de profesionales que ha generado un código de diseño, fabricación, operación y mantenimiento de calderas y equipos a presión.
- ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials*). Es un organismo de normas internacionales las cuales se utilizan para mejorar la calidad y seguridad de los productos y servicios. Ahora es conocida como ASTM International.
- Análisis de gases: Es un proceso en el que se analizan y documentan el contenido de gases y partículas de la combustión. Además, determina si se cumplen los valores de las emisiones permitidas y si el proceso es eficiente.
- Alcalinidad: La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos y representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que representa una fuente potencial de depósitos.
- Corrosión: Es el deterioro que sufren los materiales cuando están en contacto con el medio en el que trabajan. En la caldera es posible

encontrar diferentes tipos de procesos corrosivos, cualquiera de ellos puede causar daños de consideración y costosas reparaciones.

- Arrastre: Por arrastre se entiende el hecho de que algún contaminante está siendo llevado por el vapor al salir de la caldera. El contaminante más común que encontraremos son pequeñas gotas de agua, las cuales contienen sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Las causas pueden ser aumento de demanda de vapor, falta de purgas, caídas bruscas de presión, tratamiento inadecuado del agua, o la apertura rápida de la válvula del sistema de distribución de vapor.
- Dureza del agua: Es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro o ppm. Contenido en el agua, su importancia se debe a su característica particular del agua para formar depósitos o incrustaciones en los materiales con los cuales el agua está en contacto.
- Exceso de aire: Porcentaje de aire requerido por encima del aire teórico o estequiométrico con la finalidad de evitar la combustión incompleta y la formación de inquemados.
- Emisión de gases: Son los gases tóxicos provenientes de la combustión del combustible de las calderas que se vierten a la atmosfera, como el dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO_2).
- Incrustaciones: Corresponden a depósitos de carbonatos, silicatos de calcio y magnesio, formados debido a una excesiva concentración de estos componentes en el agua de alimentación o purgas insuficientes.
- Lodos: Son precipitados que van al cuerpo principal de la caldera cuando la solubilidad de los sólidos disueltos es excedida.

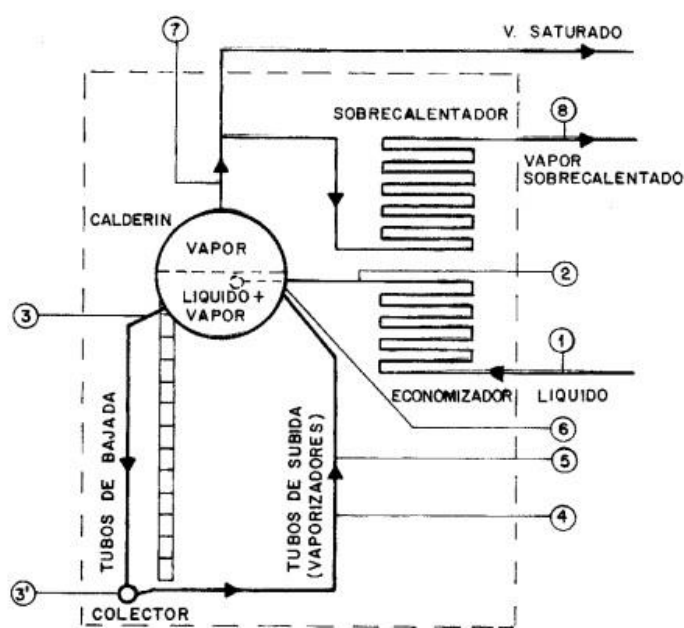
1.3 GENERALIDADES DE UNA CALDERA.

Al momento de buscar información para encontrar una definición idónea sobre una caldera, me encuentro con variados conceptos acerca de su estructura y funcionamiento, lo cual me crea una noción general de la importancia que tiene dentro del ámbito industrial y como ha perdurado el llevar a cabo procesos mediante la generación de vapor.

En simples palabras, las calderas son recipientes metálicos diseñados para el tratamiento de materiales con vapor de agua a presión manométrica mediante la acción de calor, la cual transforma la energía química del combustible en energía calorífica para luego intercambiar el calor con un fluido, en este caso agua, y así, transformándose en vapor.

Esta amalgama de mecanismos físicos es posible mediante los conceptos básicos de la transferencia de calor, como la conducción la cual el calor pasa de una pared del hogar hacia otra, la convección mediante la combustión calienta los tubos de humo de la caldera y, por consiguiente, la radiación que permite el intercambio de calor de la llama a las paredes del hogar dentro de la caldera.

Para entender mejor el funcionamiento de una caldera se podría describir de la siguiente forma.

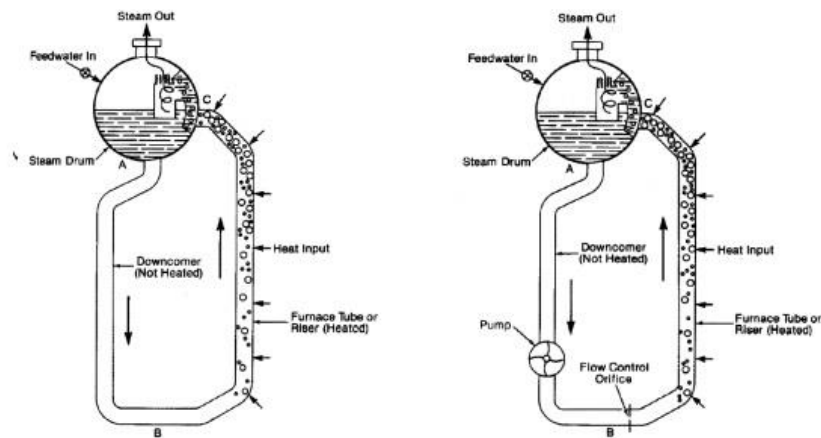


Fuente: Babcock & Wilcock Cp., "Steam. Its generation and use", 40th ed. (1992)

Fig. 1-1. Componentes de caldera acuotubular.

El agua en estado líquido entra al economizador (1), donde se calienta a una temperatura cercana a la de la saturación (2), se introduce en el domo de la caldera y desciende por los tubos de riego (3-3') hasta el colector inferior, distribuyéndose hacia

los tubos vaporizadores, donde se forman las burbujas de vapor (4-5) que a su vez se separan en el domo (6). El vapor saturado (7) puede calentarse por encima de su temperatura de saturación en el sobre calentador (8). La circulación del agua por los tubos de bajada (riegos) y de subida (vaporizadores) puede ser por convección natural, debido a la diferencia de densidades (*izquierda*), o forzada mediante una bomba (*derecha*).



Fuente: Babcock & Wilcock Cp., "Steam. Its generation and use", 40th ed. (1992)

Fig. 1-2. Funcionamiento de caldera acuotubular.

De esta manera se busca cómo resolver las necesidades en base al desarrollo productivo de algún requerimiento industrial, por lo que a continuación se dará más en detalle cómo se clasifican dichos equipos.

Según posición:

- Horizontales.
- Verticales.

Según instalación:

- Fijas o estacionarias.
- Semi – Fijas.
- Móviles o portátiles.

Según ubicación del hogar:

- Hogar exterior.
- Hogar interior.

Según circulación de los gases:

- De un paso (llama directa o recorrido en un sentido).
- De dos pasos (llama de retorno o de retorno simple).

- De tres pasos (llama de doble retorno).
- De cuatro pasos.

Según su forma de calefacción:

- Tubos de fuego.
 - Cilíndrica sencilla de hogar exterior.
 - Con un tubo hogar.
 - Con dos tubos hogares.
 - Con tubos múltiples de humo o ignectubular.
 - Tipos de lámina de agua (tubos rectos - tubos curvos).
- Tubos de agua o acuotubulares.
 - Tipo express de 2 a 3 colectores.
- Combinadas o mixtas.
 - Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo.

Según presión:

- Baja presión (hasta 5 kg/cm²).
 - Estas presiones generalmente se encuentran en calderas de agua caliente y no de vapor.
- Mediana presión (entre 5 y 20 kg/cm²).
 - Utilizadas en la industria en general con una presión de trabajo aproximadas a los 20 kg/cm² del vapor saturado.
- Alta presión (sobre 20 kg/cm²).
 - Este tipo de calderas trabajan con presiones mayores a los 20 kg/cm² y cercanas a la presión crítica.

Según volumen de agua en relación con su superficie de calefacción:

- De gran volumen de agua (más de 150 l. por m². De superficie de calefacción).
- De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 l. de agua por m². De superficie de calefacción).
- De bajo volumen de agua (menos de 70 l. por m². De superficie de calefacción).

Según tipo de combustible:

- De combustible sólido.

- En este tipo de calderas generalmente se usa leña, desechos de producción o carbón, a diferencia de las de combustible líquido o gaseoso es que los hogares son de mayor tamaño ya que el volumen de combustible usado es mayor, la desventaja es que, al ser de combustible sólido, este al ser quemado deja residuos (ceniza) por lo que el hogar debe ser limpiado con mayor frecuencia.
- De combustible líquido.
 - Generalmente usan como combustible fueloil pesado (combustóleo), en estas calderas los precalentadores elevan la temperatura al combustible a unos 40°C para reducir la viscosidad del líquido y que sea más fácil transportarlo hasta los quemadores para una buena atomización.
- De combustible gaseoso.
 - Generalmente usan GLP o gas natural, los quemadores trabajan a baja presión, una de las desventajas es el riesgo de explosiones por no lograr una buena mezcla aire combustible, esto causa grandes concentraciones de combustible sin quemar que puede generar una explosión.

1.3.1 Caldera acuotubular de media presión.

Al hablar de calderas de media presión nos estamos refiriendo a las calderas diseñadas para generar vapor de agua hasta aproximadamente 20 kg/cm², que equivale a 290 PSI. Generalmente producen vapor saturado de alrededor de unos 20 bares, que en este caso y por lo cual se está desarrollando este informe, una caldera de media presión se especifica como una caldera acuotubular o de tubos de agua.

En estas calderas el agua y el vapor que se genera, circulan por el interior de los tubos, mientras los gases de la combustión pasan por afuera y alrededor de los elementos que contienen el agua y el vapor. Otra característica de estas calderas es el menor volumen de agua que emplean en comparación con las calderas pirotubular o de tubos de humo.

Estas calderas están formadas por varias cámaras de forma cilíndrica de tamaño pequeño llamados colectores. Estos colectores están unidos entre sí por un haz de tubos.

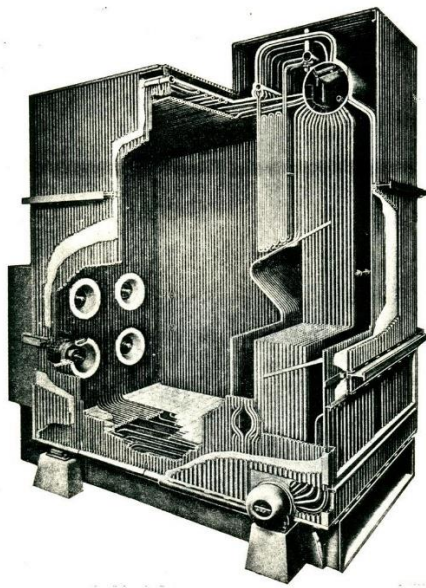
Con este diseño es posible construir calderas de gran potencia para presiones más altas, con un costo de instalación y un peso menor. En este tipo de

calderas la rotura de los tubos es más difícil, pero si sucede, no produce mayor daño. Por esta razón se llaman también calderas inexplorivas.

Por la pequeña cantidad de agua y gran superficie de calefacción, es posible obtener rápidamente las condiciones normales de trabajo.

Ventajas de la Caldera Acuotubular.

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Menor tiempo para levantar presión.
- Mayor flexibilidad para variaciones de consumo, debido a la pequeña cantidad de agua que contienen.
- Mayor seguridad para altas presiones y para el alto grado de sobrecalentamiento.
- Compatibilidad con todo tipo de combustibles líquidos y gaseosos.



Fuente: Portal electromecánico.

Fig. 1-3. Caldera acuotubular.

1.3.2 Componentes principales de una Caldera Acuotubular.

Domo de vapor: Se denomina domo al cuerpo cilíndrico en el cual convergen los tubos de la caldera, proporciona un área superficial y un volumen en la parte más alta de la caldera donde se produce la acumulación del vapor.

Además, da lugar para el tratamiento químico del agua, permite el suministro del agua de alimentación y las extracciones.

Colectores: Son cilindros de acero que van unidos a un haz de tubos por los cuales circula vapor y agua, constituyen las partes más altas y bajas de los elementos que contienen agua y vapor. Se distinguen dos tipos:

- **Colectores de vapor**: Acumular el vapor que se genera en los tubos y proveer el espacio necesario para la separación de la humedad del vapor, antes que este abandone la caldera.
- **Colectores de agua**: Proporciona una distribución uniforme de agua a los tubos generadores de vapor, además de servir como receptáculo para la acumulación de materias sólidas, esta acumulación de lodos se saca periódicamente de estos colectores por medio de las válvulas de extracción de fondo.

Tubos generadores y haz de tubos: Conjunto de tubos que une un colector de agua con el colector de vapor, se fabrican de acero y son resistentes a los esfuerzos y a temperaturas, se fabrican sin costura y procesados en frío, miden entre 1" a 2" pulgadas de diámetro.

Caballetes y soportes: Las calderas están aseguradas en su lugar por medio de caballetes y soportes estructurales. El colector de vapor de la caldera está soportado por los tubos, los cuales a su vez están soportados por los colectores de agua.

Envolventes: Para evitar el escape de los gases de la combustión a la sala de calderas, la unidad completa es encerrada en un envoltente de acero que se extiende desde los colectores de agua por los lados, y por las paredes del fogón, por el frente y por el fondo.

Caja de humos: Es la parte en que se une el envoltente con la chimenea, la cual se juntan los humos y los gases posterior a su funcionamiento y previo a la expulsión hacia la atmosfera.

Quemador: Es un equipo el cuál se introduce el combustible y el aire dentro de la caldera, donde debe contar con una velocidad, turbulencia y la concentración ideal para realizar la combustión.

Material refractario: El ladrillo refractario es una composición de varios elementos de los cuales los más importantes son la sílice, la alúmina y la arcilla de piedra calcinada, pueden resistir temperatura de hasta 1.760 °C. (3.200 °F) por lo que destaca su resistencia a las llamas, resistencia a absorber o traspasar calor.

Deflectores: Es una pieza de acero usado para desviar los gases y obligarlos a seguir un curso determinado. Así obliga a entregar máxima cantidad de calor posible antes que éstos puedan abandonar la caldera. También se usan para proteger el colector de vapor o a los colectores de agua y otros elementos de un traspaso de calor excesivo.

Tobera: Una tobera o boquilla pulverizadora es un dispositivo empleado para dividir un líquido en gotas, la cual tiene por finalidad atomizar el combustible correctamente, pulverizarlo en partículas finas o nieblas, forzándolo en un movimiento dinámico de rotación para buscar el íntimo contacto entre las partículas y el oxígeno del aire, favoreciendo la combustión.

Manómetro: El manómetro es el instrumento indispensable la cual ninguna caldera puede trabajar sin él. Está destinado a indicar de forma clara y precisa la presión efectiva del vapor en (kg/cm^2), o (lb/pulg^2) de presión y todo dependerá de la sensibilidad del instrumento.

Analizador de gases de combustión: Son aparatos que sirven para controlar la combustión dentro del hogar mediante el análisis de los gases que salen por la chimenea. Mientras mayor sea el porcentaje de anhídrido carbónico (CO_2) que marque el instrumento, mejor será la combustión.

Válvulas de seguridad: Todas las calderas deben tener 1 o más válvulas de seguridad. Deben ir conectadas directamente a la cámara de vapor de la caldera y su objetivo es dar salida al vapor cuando exceda la presión normal de trabajo, esto debe suceder antes que la presión sobrepase un 10% sobre la presión de trabajo autorizada y regularse a un 6% sobre la presión normal de trabajo.

Válvula globo-check: Es una válvula la cuál su funcionamiento se basa en regular el flujo de vapor de la caldera, además, permite el paso del caudal de fluido mediante las tuberías de la caldera y a su vez es antirretorno.

Válvula de purga de fondo: Es una válvula de tipo disco la cual manualmente mediante una palanca se da abertura de manera rápida para decantar lodos, incrustaciones, y otros materiales que se acumulan en el fondo de la caldera.

Válvula de retención-check: Son válvulas que permiten el paso del fluido en un solo sentido, su apertura se da debido a la presión del fluido que circula y el cierre cuando se invierte el flujo. Son utilizadas en la línea de alimentación de agua y red de vapor.

Bombas de alimentación: Su función consiste en reponer el agua que se ha vaporizado al interior de la caldera. Las bombas de alimentación de agua para calderas se clasifican en:

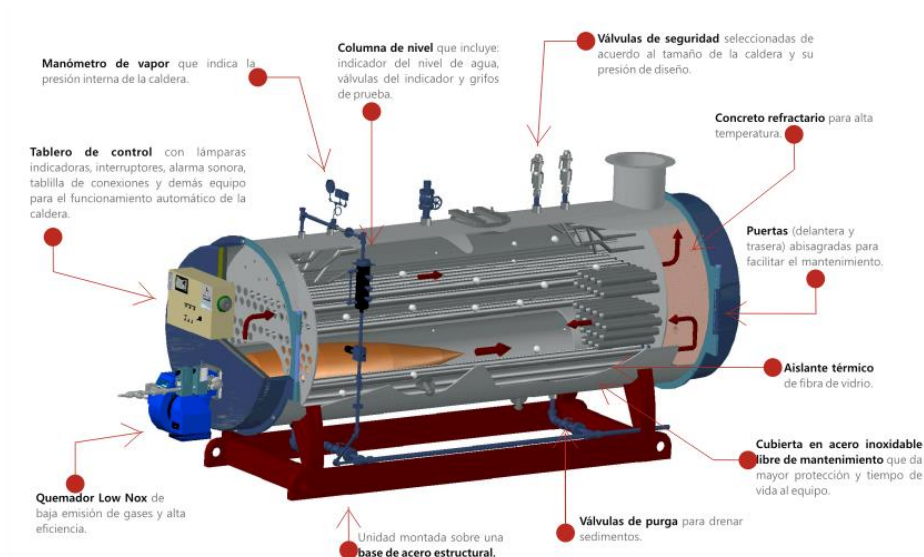
- Bombas de émbolo: Consiste en un cilindro dentro del cual se desplaza un émbolo o pistón, su función es ejercer la presión sobre el líquido bombeado, generalmente son de simple efecto, que succionan e impulsan solo por una cara del émbolo.
- Bombas centrífugas: Estas bombas consisten en ejercer presión sobre el agua al girar un impulsor que está dentro de una carcasa, dan un caudal continuo y se usan ventajosamente para grandes presiones.

Termostato: Instrumento de control automático, que mantiene la temperatura dentro de rangos preestablecidos, en el interior de una caldera, autoclave o equipo que utiliza vapor de agua.

Presostato: Es un componente de control el cual su función consiste en abrir el circuito para detener el funcionamiento del quemador en una subida de presión de la caldera.

Desaireador: Es un equipo que remueve principalmente el oxígeno disuelto en el agua de alimentación a calderas, ya que el oxígeno es altamente corrosivo en los circuitos de vapor. Además del oxígeno se remueve el dióxido de carbono. Su utilización se justifica para calderas que sobrepasan los 200 BHP.

Dámper: Su función se basa en regular la cantidad de aire necesario para el proceso de combustión de la caldera, generalmente se encuentra ubicado en el conducto de ingreso del aire, aunque también se ubican en la salida de los gases de combustión.



Fuente: EUROAIR.

Fig. 1-4. Caldera y sus accesorios.

1.3.3 Reglamento de Calderas según DS10.

Para un funcionamiento seguro y correcto de la caldera es necesario seguir distintas normativas que se encuentran en el decreto supremo 10. Este decreto fue creado en 2012 debido a que el decreto N°48 estaba enfocado en gran medida solo en las calderas generadoras de vapor, por lo que emplearon el decreto N°10 para abarcar también las otras calderas, autoclaves y maquinas generadoras de vapor.

1.3.3.1 Relativo al registro e identificación de la caldera.

La caldera debe estar registrada en la secretaria regional ministerial de salud antes de su operación y funcionamiento, este registro le asignará un numero de validez nacional.

La caldera debe tener un libro de vida durante toda su vida útil, debe ser mantenido y conservado en buen estado. Este libro contendrá una memoria explicativa con todos los datos necesarios como mantenciones, reparaciones, traslados etc. ordenados por fecha. Además de un libro foliado de operaciones diarias en el cual se debe registrar cada turno, sus análisis y verificaciones

Todas las calderas deben tener una placa adosada al cuerpo principal que indique el fabricante, numero de fábrica, año de fabricación, superficie de calefacción, tipo de combustible (si correspondiera), numero de registro asignado por la autoridad sanitaria y presión máxima de trabajo.

1.3.3.2 Relativo a la sala de calderas.

Las calderas de vapor que tengan una superficie de calefacción igual o superior a 5 m² y una presión manométrica de trabajo igual o mayor que 2,5 kg/cm², deben ser instaladas en una sala de calderas, las cuales deben ser confeccionadas con material incombustible con una cubierta en el techo liviano de similares características muros con resistencia mínima al fuego RF-60. Debe contar con dos o más puertas, ubicadas en diferentes direcciones, que abran hacia el exterior, las que se mantendrán en todo momento libre de obstáculos. Se prohíbe emplear en ellas chapas que solo puedan abrirse manualmente por dentro, así como mantener cerradas con llave las puertas mientras la caldera esté en funcionamiento.

En la sala donde se instale la caldera deberán colocar, visiblemente y legibles, carteles indicadores con las instrucciones sobre las maniobras necesarias para la puesta en marcha, la detención o si existe algún tipo de emergencia.

La distancia mínima que debe existir entre la caldera, las paredes del recinto y cualquier otro elemento o instalación debe ser de 1 metro y debe haber in espacio libre de al menos 1,5 metros entre el punto más elevado de la caldera y el techo del recinto.

El recinto debe contar con plataformas de trabajo de material incombustible y superficie antideslizante, para realizar las operaciones como mediciones de gases en chimeneas, observación, mantención etc. Las aislaciones terminas que contengan asbesto deben estar señaladas con un letrero de advertencia que diga: *"aislación térmica con asbesto, material de riesgo para la salud, no intervenir sin autorización"*.

La sala de calderas debe ser mantenida en buen estado de limpieza y conservación, totalmente libre de gases o vapores inflamables y estar permanentemente ventilada, con ingreso continuo de aire tanto para su renovación como para la combustión.

1.3.3.3 Relativo al suministro de agua.

El suministro de agua de alimentación debe ser continuo, debe contar con un estanque de alimentación ubicado entre la fuente de abastecimiento y la caldera a vapor, la cañería de alimentación debe tener un sistema de retención y una válvula de paso de cierre manual ubicada entre la caldera y el sistema de retención. Deben existir dos o más medios de alimentación de agua. No se puede unir directamente el sistema de alimentación de agua de las calderas con la red de agua potable. Se debe realizar por lo menos una vez por año un control de calidad del agua. Se debe mantener limpio tanto el estanque como su circuito de

evaluación, cada limpieza debe quedar registrada en el libro de operaciones diarias. El operador debe realizar en cada turno, los controles periódicos mínimos del agua como pH (entre 7 y 11), conductividad (no superior a 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), turbiedad (no superior a 10 NTU) y dureza (no superior a 10ppm CaCO_3) y anotar los resultados en el libro de operaciones diarias.

1.3.3.4 Relativo a accesorios de observación, seguridad y control automático.

La caldera debe disponer de accesorios de observación los cuales son dos indicadores de nivel de agua independientes entre sí, uno o más manómetros y un medidor de temperatura de salida de gases. También debe tener accesorios de seguridad como válvula de seguridad, sistema de alarma audible y visible, sellos para alivio de sobrepresión en el hogar y tapón fusible y accesorios de control automático como uno o más controladores de nivel de agua, uno o más detectores de llama y uno o más presostatos con diferencial ajustable o digital.

Se deben mantener operativos y en buen estado estos accesorios y ante cualquier irregularidad la caldera debe dejar de funcionar.

1.3.3.5 Relativo a revisiones y pruebas de las condiciones de seguridad de las calderas de vapor.

Las calderas deberán ser sometidas a las revisiones y pruebas que establece el DS10 y tener los accesorios de seguridad, observación y de control automático. La verificación de las condiciones de seguridad de las Calderas de vapor y de sus componentes se hará mediante las siguientes revisiones y pruebas en esta secuencia:

1. Revisión interna y externa: Para realizar estas revisiones las calderas de vapor se dejarán enfriar, se vaciará la totalidad del fluido en su interior, se abrirá y procederá a retirar cualquier vestigio de lodos, impurezas o incrustaciones, también se deberán limpiar por completo el hogar, los conductos de humos y las cámaras por donde circulan los gases de la combustión.

2. Prueba hidrostática: Para realizar esta prueba el cuerpo de presión deberá estar a una temperatura no mayor a los 50°C, se instalarán bridas o flanges ciegos que interrumpan todas las conexiones del cuerpo de presión y que resista la presión hidrostática de prueba. Se deben retirar las válvulas de seguridad y luego poner flanges ciegos o tapones. Se llenará el cuerpo de presión hasta expulsar todo el aire de su interior, mediante un tubo de ventilación (la presión de esta prueba debe ser 1,5 veces la presión máxima de trabajo) se considerará satisfactoria la prueba cuando el cuerpo de presión no presente filtraciones ni

deformaciones durante 15 minutos y la presión de prueba se haya mantenido constante.

Si no se conoce la presión máxima de trabajo el profesional facultado deberá determinar la nueva presión máxima mediante cálculos conforme a las normas nacionales e internacionales reconocidas, esta modificación debe quedar escrita en el informe técnico del profesional y el libro de vida.

3. Regulación de la válvula de seguridad: Todas las válvulas de las calderas de vapor deben ser reguladas. Para esto se graduarán éstas para que inicien la evacuación de vapor a una presión no superior al 6% de la presión máxima de trabajo, se puede realizar en un banco de prueba.

4. Prueba de acumulación de vapor: Se debe realizar con la caldera de vapor funcionando a su máxima capacidad y con la válvula principal de suministro de vapor cerrada. En estas condiciones, la caldera deberá poder evacuar la totalidad del vapor sin sobrepasar en un 10% la presión máxima de trabajo.

5. Revisión de redes de distribución de vapor, componentes y accesorios: El profesional encargado debe realizar estas revisiones y anotarlas en el libro de vida: el estado de la red de distribución de vapor incluyendo la aislación térmica, los sellos de agua y válvulas de conexión de los manómetros, el funcionamiento del sistema de alimentación y de control de niveles de agua desde el estanque de alimentación, las condiciones estructurales de la red de purga, estanque de retención de purgas y suministro de agua, los accesorios de observación, de seguridad, los componentes que forman la red de distribución (bombas de alimentación, trampas de vapor, válvulas reguladoras de presión, etc.), se debe determinar la precisión del manómetro con respecto a un instrumento patrón y para finalizar el funcionamiento de los controles automáticos de presión, alarmas, combustión, temperatura y detención por emergencia.

6. Pruebas especiales: La autoridad sanitaria o el profesional facultado puede solicitar estas pruebas, que consisten en ensayos no destructivos.

Las pruebas son realizadas por empresas certificadas o por profesionales especializados en ellas.

1.3.3.6 Relativo a los combustibles.

Todo combustible debe ser almacenado en recintos exclusivos y separados de la sala de caldera y debe cumplir con la ordenanza general de urbanismo y construcciones respecto a la densidad de carga de combustible y a la normativa específica en materia de combustibles dictada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

Si se realiza una modificación en el diseño original de las calderas de vapor por un cambio de combustible, esta modificación debe estar respaldada por el fabricante informando la factibilidad de su funcionamiento. Además, debe estar respaldada por cálculos conforme a las normas nacionales e internacionales reconocidas, informe que debe ser realizado por el profesional facultado (bajo su responsabilidad). Esta información debe quedar anotada en el informe técnico del profesional y en el libro de vida.

1.3.3.7 Relativo a los profesionales facultados para verificar las condiciones generales de instalación y realizar las revisiones y pruebas.

Las condiciones generales de instalación, revisiones y pruebas de las calderas deben ser realizadas por un profesional que cumple estos requisitos: ser profesional titulado con formación en termodinámica, transferencia de calor, mecánica de fluidos entre otros. debe estar facultado para ejercer en el país, además acreditar una experiencia de a lo menos 3 años en la fabricación, instalación, reparación, mantenimiento u operación de plantas térmicas con calderas a vapor de gran presión.

La autoridad sanitaria lleva un listado con todos los profesionales que han acreditado el cumplimiento de estas exigencias, lo que tendrá validez nacional.

Los profesionales deben declarar a la autoridad sanitaria los equipos e instrumentos que usaran, especificando las características de cada uno de ellos, estos instrumentos deben ser calibrados una vez al año o en el plazo que determine la autoridad sanitaria, el ISP o en un laboratorio de metrología.

Se debe dar aviso con 72 horas de anticipación a la autoridad sanitaria a través de un formulario.

1.3.3.8 Relativo a los operadores de caldera.

El manejo, vigilancia y operación de la caldera de vapor deberá estar a cargo de un operador calificado, con capacitación sobre el funcionamiento del equipo a operar y sobre cualquier peligro que pueda ocasionar una mala maniobra o una inadecuada operación.

El operador deberá contar con licencia de enseñanza media y la aprobación de un examen de competencia ante la autoridad sanitaria o demostrar que ha obtenido esa competencia dentro de una carrera, deberá contar con un título a nivel técnico o profesional en el área industrial.

CAPITULO 2: IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN CALDERAS.

2. IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN CALDERAS.

2.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA.

Existe una serie de situaciones comunes en la operación de una caldera que conlleva a la falla inminente, la cual ésta se presenta cuando una máquina, equipo o componente se encuentra en una condición que no le permite seguir cumpliendo la función para la cual fue diseñada.

Cada una de estas situaciones representa un peligro humano y de producción que al no actuar a tiempo genera una cadena de acontecimientos no deseados como fallas imprevistas, paradas de producción prolongadas y elevados costos de reparación.

Debido a lo acelerado y complejo que resulta hoy en día la toma de decisiones en procesos industriales, en varias ocasiones las empresas se ven obligadas a ejecutar acciones de inversión basadas en información incierta o deficiente, cuando a su vez debiendo producir con menor costo, una mejor calidad y alto nivel de confiabilidad.

Para ello, es necesario aplicar un plan de inspección basado en riesgo (RBI) previo al plan de mantenimiento, para así, detectar previamente basándose en el análisis las potenciales fallas o problemas que se pueden presentar en el funcionamiento del equipo a vapor para mantener una operación segura y confiable.

2.2 ANALISIS DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI-API RP 580).

La asociación American Petroleum Institute (API) presentó en 1996 la inspección basada en riesgo (RBI), como efecto de informes e investigaciones realizados por variadas empresas como Texaco, Shell, Chevron, entre otras.

Cuando se habla de inspección basada en riesgo (*risk-based inspection – RBI*), se debe tener en cuenta que su finalidad consiste en identificar, evaluar y definir datos acerca de elementos y equipos que conforman una caldera generadora de vapor como tuberías, horno, o dispositivos de alivio, de esta manera estos pueden ser analizados para llevar a cabo una evaluación de los riesgos y la integridad mecánica de todo el equipo para una continuidad operacional cuyo objetivo es mantener la funcionabilidad del equipo en óptimas condiciones.

La historia señala que el 80% de los riesgos de las plantas térmicas, generalmente, el 20% tiene relación con el equipo de vapor o presión. Por lo mismo, para aprovechar una alta eficiencia con las inspecciones y mantenimiento, este método de inspección es muy eficiente para identificar ese 20% o más.

La importancia de desarrollar una inspección basada en riesgo radica fundamentalmente en el hecho de que de esta manera se puede determinar el estado real de los componentes de un recipiente a presión y así analizar las causas probables de deterioro o falla, además de la criticidad de su funcionamiento y rendimiento del equipo.

Durante esta evaluación se establece la susceptibilidad del equipo de ser afectado por algún mecanismo de falla como fatiga, agrietamiento o corrosión, esto, para entender el riesgo que implica ejecutar y seleccionar las actividades de inspección y mitigación que permitan gestionar y reducir los riesgos para aumentar la confiabilidad, mejorar la seguridad del personal, de la industrial y del medio ambiente.

¿Por qué necesitamos RBI?

- Mejorar la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento.
- Proporciona una base para la transferencia de recursos de menor a equipos de mayor riesgo.
- La inspección basada en riesgo puede reducir el riesgo de fallas de alta consecuencia.
- Medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección.

- Medida de reducción del riesgo como consecuencia de las prácticas de inspección.

El análisis de inspección (RBI) proporciona la metodología para determinar un conjunto de actividades con un mismo fin, como métodos de inspección, alcances y frecuencias, en base a las practicas dadas por las norma (API RP-580). Estas técnicas de optimización y análisis de la integridad de los equipos se dividen en tres niveles.

- Nivel I: Herramienta de investigación que de manera rápida se pone en relieve el riesgo que los usuarios de equipos de alto riesgo tal vez deseen evaluar en mayor detalle.
- Nivel II: Cerca de ser un análisis cuantitativo de Nivel I, se trata de un enfoque por debajo del rango del Nivel III.
- Nivel III: Enfoque cuantitativo del RBI que proporciona el análisis más detallado de los tres niveles.

		CRITICIDAD					
CLASE DE PROBABILIDAD	E	MH	MH	H	E	E	
	H	M	MH	MH	H	E	
	M	M	M	M	MH	H	
	L	L	L	M	MH	MH	
	N	N	L	M	M	MH	
CLASE DE CONSECUENCIA		N	L	M	H	E	

Fuente: Asociación Argentina de Materiales, Estudio de RBI. 2009.

Fig. 2-1. Matriz de criticidades.

La combinación de clases da como resultado seis niveles de criticidad, donde **N** (Negligible), **L** (Low), **M** (Medium), **MH** (Medium High), **H** (High) y **E** (Extreme).

2.2.1 Metodología de RBI.

La metodología de Inspección Basada en Riesgo se respalda en las normas API RP-580 y API PUB-581 respectivamente, estas normas permiten caracterizar el riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema de producción sometidos a corrosión, en base al análisis del registro histórico de las fallas, detenciones imprevistas, características de diseño, operación, mantenimiento y sus consecuencias asociadas a las averías existentes.

Para comprender de mejor manera, se debe anticipar primero cuales son las causas o qué es lo que lleva a un equipo a la falla o a su deficiente funcionamiento, dicho esto una de las principales causas son las acciones y condiciones inseguras.

Las acciones inseguras son todos los actos u omisiones que desvían al trabajador de la manera normalmente aceptada como segura para efectuar un trabajo, por ejemplo:

- No probar válvulas de seguridad en turnos correspondientes.
- Abandonar sala de caldera sin previo aviso.
- No informar fallas.
- Reencender la caldera sin usar antorcha.
- Variar regulación de las válvulas.
- Inutilizar accesorios de control.

Las condiciones inseguras son las circunstancias físicas peligrosas que pueden permitir directamente que se produzca un accidente, por ejemplo:

- Caldera en mal estado.
- Accesorios en mal estado.
- Falta de accesorios.
- Instalación defectuosa.
- Agua de alimentación sin tratamiento.

Existen también condiciones inseguras que son consecuencias de:

Diseño.

- Calculo inadecuado de espesores y calidades de planchas, remaches y tubos.
- Soldaduras de mala calidad.
- Empleo de accesorios inadecuados o en mal estado.

Construcción.

- Mano de obra no especializada.
- Fallas en la supervisión.
- Material entregado por fabricantes fuera de norma.

Instalación.

No se respetan las normas indicadas en legislación vigente, o más bien en el Decreto Supremo Nº 10, del Ministerio de Salud, donde se establecen las

disposiciones para su instalación, funcionamiento, pruebas de seguridad, y requisitos que deben cumplir las personas que las operan.

Mala mantención.

Al no existir un plan de mantención o inspección basada en riesgo no se puede conocer exactamente el estado de la caldera y sus accesorios, además la falta de libro de servicio o check list impide saber las reparaciones y tratamientos realizados.

2.3 SITUACIONES DE PELIGRO EN LAS CALDERAS.

Una caldera es considerada como un equipo crítico, esto se debe a que cuando se presenta una falla, la detención del equipo se considera como en alto porcentaje, la pérdida de producción y crear una situación de riesgo grave para el personal.

Existe una serie de situaciones o fallas que son más típicas o comunes en la operación de calderas. Cada una de estas situaciones representa un peligro y el operador de calderas debe saber cómo enfrentarse a ellas.

2.3.1 Falta de agua en la caldera.

El bajo nivel de agua en una caldera representa un peligro que puede ser muy grave, desde una fuga a una explosión, dependiendo la presión la cual trabaja el equipo. Se detecta esta falla al observar que el agua en el tubo de nivel no alcanza a aparecer, o bien, marca bajo lo normal, a su vez los tubos se dilatan a medida que el nivel de agua baja, generando grietas o rupturas del material produciendo inminentes fugas. Esta situación puede deberse especialmente a:

- Descuido del operador.
- Falla en la bomba de alimentación.
- Pérdidas de agua en la línea de alimentación.
- Obstrucción del tubo de nivel.
- Fuga en las válvulas de extracción.

Para evitar que el tubo de nivel de informaciones falsas, el operador de calderas debe purgarlo todos los días para eliminar lodos o impurezas que se acumulan en las uniones.

Cuando el nivel de agua está bajo la señal que indica que el nivel mínimo de funcionamiento, muchas partes de la caldera pueden quedar expuestas al calor del fuego sin tener la protección del agua. En este caso, la temperatura del material

se eleva y disminuye su resistencia, si el calentamiento es excesivo, la parte expuesta puede romperse y provocar una explosión.

En caso de ser así, se debe tomar inmediatamente las siguientes medidas de seguridad al momento de comprobar la falta de agua de alimentación.

1. Cortar el combustible y los quemadores, dejarlos en posición de seguridad.
2. Cerrar la válvula principal de vapor y la válvula de agua de alimentación para evitar caídas bruscas de presión.
3. Continuar operando los ventiladores de tiro inducido y tiro forzado hasta que la caldera se enfríe gradualmente.
4. Si la bomba o inyector están alimentando la caldera, dejarlos en funcionamiento.
5. Si no hay signos de fugas, realizar una prueba hidrostática a la caldera a 1,5 veces la presión de trabajo admisible, posteriormente comprobar si hay fugas en todas las zonas críticas de la caldera.

2.3.2 Exceso de agua en la caldera.

El exceso de agua en la caldera hace disminuir su rendimiento, al disminuir la cámara de vapor entregará vapor más húmedo, esto puede ser causado por una mala regulación, por cambios de carga muy rápidos o por la presencia de aceite en la caldera, debido a esto el operador de caldera debe estar atento a cualquier cambio y actuar a tiempo para mantener el nivel de agua dentro de los niveles establecidos.

Cuando exista exceso de agua en la caldera, aumente la frecuencia de purgas y la cantidad de agua purgada en cada operación para así no superar los límites de presión, en caso de ser así, el vaso de expansión absorberá parte del exceso de presión de agua.

La presión ideal a la que debe estar sometida es de 1 a 1,5 bar cuando está fría la caldera y 1,3 a 1,8 bar cuando está a altas temperaturas, si este valor aumenta a más de 3 bares sometiendo a la caldera a una alta presión en la carga de agua, la válvula de seguridad expulsará ese exceso de presión y si esto llega a ser continuo, con el paso del tiempo los elementos de la caldera como válvulas de seguridad o manómetros se irán deteriorando lo que provocará un funcionamiento deficiente de la caldera.

2.3.3 Fallas en los tubos.

Cuando se habla de fallas en los tubos, nos referimos a las roturas, altas tensiones o grietas, si son de gran tamaño, pueden significar un grave problema. Las consecuencias variarán según sea la magnitud del daño, el tipo de tubo donde exista rotura y el área donde se dé la rotura del material.

Estas fallas pueden deberse a:

- Tiempo de servicio.
- Antigüedad de la caldera o tubos.
- Mantenimiento deficiente.
- Descuido o inexperiencia del operador de caldera.
- Conductos obstruidos por sedimentos.
- Fuga por empaquetaduras.

Las fallas por rotura de tubos de una caldera son un punto de inflexión y riesgo, debido a eso es necesario aplicar programa de inspección periódica para la detección de grietas, tensiones anormales, reducción de espesores y si es necesario una evaluación de las tuberías de vapor para estimar el periodo de la puesta en servicio y futuras reparaciones, a la misma vez las pruebas de ultrasonido son el principal método de inspección para detectar este tipo de falla en los tubos de vapor de una caldera.

Es importante considerar que para evitar diversos tipos fallas en los tubos, el operador debe preocuparse de que exista un adecuado tratamiento de agua como la norma lo indica y evitar sobrecalentamientos, esto permitirá que los tubos conserven un estado óptimo de funcionamiento para así evitar paradas inesperadas o accidentes.

En caso llegue a producirse esta falla, se debe hacer lo siguiente:

1. Cerrar el suministro de combustible.
2. Cerrar la válvula de vapor.
3. Abrir la válvula de seguridad para eliminar presión (en caso de sobre calentador abra conexión a línea de vapor para evitar recalentamiento).
4. Cerrar registro de aire.
5. Si el tiro forzado está funcionando, aumente la velocidad para expulsar vapor por la chimenea y evitar que el vapor invada la sala.

6. Continuar la alimentación de agua hasta después que se apaguen los fuegos, para evitar recalentamiento de la superficie de calefacción.
7. Mantener nivel de agua adecuado.

2.3.4 Retorno de la llama.

Cuando se visibiliza un retorno de la llama de combustión, el operador puede sufrir graves quemaduras. Esta situación ocurre en general cuando la presión en el lugar es mayor a la presión en la sala de caldera.

Esto se debe a:

- Explosión de una mezcla de vapor, aceite o gas, con aire en la chimenea o en el hogar.
- Caída de presión en la sala de caldera.
- Fallas del tiro forzado.
- Abertura de puertas en forma brusca.

El retorno de la llama generalmente está ocasionado por un mal o nulo mantenimiento, fallos del operador o falta de adiestramiento en el manejo del equipo. Esto es más común que ocurra cuando se está prendiendo un quemador.

Para evitar el retorno de la llama debe tomar las siguientes medidas de precaución:

1. No permita acumulación de petróleo en el hogar de la caldera.
2. Si el fuego se embanca o se corta el combustible accidentalmente, corte el suministro de alimentación y sopletee a través del hogar con vapor o aire antes de volver a encender.
3. Nunca encienda de nuevo el quemador usando el calor del hogar, para una manera óptima se debe usar una antorcha.
4. Evite el humo blanco o exceso de aire, ya que este se puede formar una mezcla explosiva con el hollín o los gases.

Como recomendación, se debe adoptar una posición correcta al usar la antorcha de encendido en caso de retorno de la llama, de esta manera nadie saldrá afectado ni tampoco se generará una situación de riesgo que puede ser grave.

2.3.5 Vibraciones en la caldera.

Las vibraciones o fogonazos tienden a desprender el material refractario de la caldera, ductos o accesorios, esto lleva a producir escapes de aire, la cual es la causa más común, aunque también existen causas más complejas que producen el mismo resultado, también se debe a mezclas erróneas de aire y combustible producidas por el funcionamiento y la velocidad de los tiros de aire forzado, en menor grado, afecta de igual manera la regulación de los registros de aire.

2.3.6 Formación de hollín.

El resultado de la formación de hollín puede ser el exceso de humo y mayor gasto de combustible. Esto se debe a las partículas de combustible que no han sido quemadas y que se depositan en los tubos de vapor, revestimiento del hogar y en el material refractario de la caldera.

Las causas más comunes:

- Puertas de registro muy cerradas.
- Atomizador sucio o mal colocado.
- Poco aire.

2.3.7 Problemas causados por impurezas del agua.

Si te preguntas de donde proviene el agua de alimentación para la caldera, puede provenir de diversas fuentes, como ríos, lagos, aguas lluvias, etc. sea cual sea su origen, estas contienen impurezas que pueden causar problemas asociados a un mal tratamiento de agua.

Problemas como:

- Corrosión: La corrosión es un deterioro progresivo de las superficies metálica al contacto con el agua de alimentación de la caldera, debido a la acción del oxígeno, anhídrido carbónico y sales como el cloruro de sodio disueltas en el agua. El oxígeno disuelto provoca una reacción al contacto con el metal de la caldera, generando oxidación, esto produce agujeros, cavidades y grietas hasta el punto de que la caldera se destruye, provocando pérdidas de eficiencia, aumento de los costos operativos y de mantención.
- Embancamiento: El barro y la sílice junto por las sales disueltas en el agua, producen embancamientos en gran velocidad, las cuales se depositan en el fondo de la caldera, impidiendo o dificultando la libre circulación y salida del agua.

- **Incrustaciones:** Son depósitos en forma de costra dura y adherente, producidas por las sales de calcio y magnesio que son precipitadas fuera del agua, directamente sobre la superficie. Esto afecta la transferencia de calor al agua reduciendo la capacidad que tiene la calera, provocando sobrecalentamientos excesivos de los tubos, generando roturas o deformaciones afectando el paso o circulación del agua dentro de la caldera.
- **Arrastre:** Este problema ocurre cuando el vapor que sale de la caldera lleva partículas de agua en suspensión. Factores como diseño de la caldera, altos niveles de agua, alta alcalinidad, sustancias orgánicas, materiales oleosos o alta concentración de sólidos se depositan en los elementos o equipos donde circula el vapor, causando problemas de funcionamiento y la formación de espuma en la superficie del agua.

2.3.8 Rotura de tubos de nivel.

La rotura de los tubos de nivel puede significar un peligro de quemadura para el operador de caldera, además de escapes de vapor y agua que harán bajar el nivel.

Las causas principales de esta falla son:

- Vidrios de baja calidad.
- Vidrios de longitud mayor que la requerida.
- Tubos debilitados por golpes o trizaduras.
- Filtraciones o enfriamientos bruscos.
- Instalaciones incorrectas.

Si usted detecta la rotura de los tubos de nivel, lo primero que debe hacer es cerrar rápidamente las llaves de paso que comunican al tubo con la cámara de vapor de agua, mientras se remplazan.

2.3.9 Aumento y baja de presión de la caldera.

El aumento repentino de la presión puede llegar a provocar una grave explosión en la caldera, donde el operador debe estar capacitado para actuar bien y a tiempo. Esto sucede generalmente cuando se disminuye bruscamente el consumo de vapor o cuando hay descuido del operador de caldera y exceso de combustible en el hogar.

Cuando se enfrente a este problema, debe tomar las siguientes medidas de precaución:

- Disminuya el tiro cerrando parcialmente el registro o templador y abriendo un poco la compuerta del hogar.
- Si el nivel lo permite, inyecte agua a la caldera.
- Verificar apertura de la válvula de seguridad de calefacción para liberar la presión acumulada.
- En caso de quemadores de petróleo, corte el suministro de combustible.

Ahora si el problema radica en la disminución de la presión de la caldera, este problema trae como consecuencia una mala producción de vapor. Esto se debe por un descuido del operador en la alimentación del combustible, por fuga, o por exceso de alimentación de agua.

Cuando esta falla se haga evidente, si la presión se reduce hasta los 0,5 bar, la caldera detendrá su funcionamiento automáticamente, pero si en caso la presión marca inferior a 1 bar se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Abrir la llave de llenado de la calefacción que se ubica en la parte inferior de la caldera, esta abertura se hace gradualmente en el sentido contrario de las agujas del reloj.
- Una vez a la presión alcance entre 1 a 1,5 bares, se puede cerrar la llave de llenado.
- Reactive el fuego del hogar y corte el suministro de vapor si es necesario.

2.3.10 Incendio en Sala de Caldera.

Un incendio en la sala de calderas es uno de los sucesos más graves y dañinos que podrían ocurrir en una planta, por el total de pérdidas de producción e incluso vidas humanas.

Por la misma razón es importante mantener un área de trabajo despejada, bajo estándares, y recomendaciones como las siguientes:

- Mantener una sala de calderas limpia de desperdicios y basura.
- Mantener la superficie sin derrames de combustible.
- Mantener fuera de la sala los estanques de combustible líquido y en una zona indicada para los combustibles sólidos.
- Mantenga un funcionamiento recomendado de la caldera sin exceso de combustible.
- Mantener el interior de la caldera libre de hollín.
- Mantener en la sala de caldera sólo equipos y accesorios necesarios para un adecuado funcionamiento.

El operador de caldera debe estar capacitado y entrenado para actuar bajo las condiciones de precaución cuando se produzca un incendio, para ello es de vital importancia conocer las siguientes indicaciones especificadas por la ACHS (Asociación Chilena de Seguridad).

2.3.10.1 Química del fuego y métodos de extinción.

El fuego se produce cuando algo arde en presencia de aire, produciéndose llama o calor intenso. Para esto se necesita de cierta temperatura para que una cosa comience a arder o más bien para que se produzca fuego se requiere de la presencia de tres elementos; combustible, comburente (un agente oxidante como el oxígeno) y calor (energía de activación). Esto se presenta como el triángulo de fuego.

Para apagar un fuego o incendio, basta con dividir uno de estos elementos:

- El calor puede ser eliminado por enfriamiento.
- El oxígeno puede ser separado por sofocación.
- El combustible puede ser segregado o retirado del área de peligro.

2.3.10.2 Clases de fuego.

Según la norma chilena NCh-934, el fuego se clasifica de acuerdo con el material de combustible que arde, como las siguientes clases:

- Clase A: Materiales tales como madera, papel, textiles, cartón, posteriormente se convierten en brasas.
- Clase B: Combustibles líquidos inflamables como aceite, pinturas, gasolinas, etc.
- Clase C: Fuego de equipos eléctricos de baja tensión.
- Clase D: Elementos metálicos como sodio, potasio, aluminio.

2.3.10.3 Agentes extintores.

Son sustancias utilizadas para apagar incendios según el tipo de fuego.

- Clase A:
 - Agua a presión.
 - Espuma química.
 - Soda-ácido.
 - Polvo químico multipropósito.
- Clase B:
 - Anhídrido carbónico.

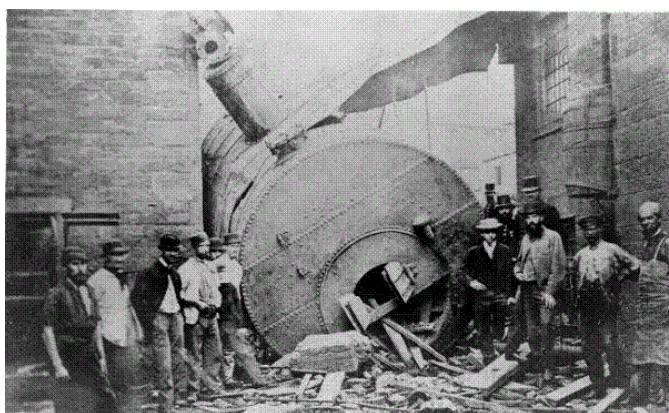
- Polvo químico seco.
- Espuma química.
- Clase C:
 - Anhídrido carbónico.
 - Polvo químico seco.
- Clase D:
 - Polvos químicos secos específicos.
 - Otros (polvos de grafito, etc.).

Como recomendación, antes dar uso a algún tipo de extintor, debe comprobar y seleccionar para qué clase de fuego corresponde.

2.3.11 Explosiones de Calderas.

El principal riesgo que producen las calderas son las explosiones. Se trata de accidentes de gran magnitud que producen diversos tipos de daño, tanto material como a personal humano, esto trae consigo decesos y pérdidas de producción.

Una presión superior a la de diseño puede provocar roturas o fatiga de los materiales de la caldera, por esa razón debe existir un constante chequeo de los accesorios de seguridad y elementos como manómetros, presostatos, y válvulas de seguridad para liberar el vapor acumulado, de no ser así existe una alta probabilidad de que durante el funcionamiento se generen riesgos como la falta de agua (nivel bajo), altas temperaturas del fluido, incrustaciones formadas por el depósito de sales en el agua etc. Todos estos factores provocan un aumento de la temperatura, asimismo, las planchas de la caldera quedarían sometidas al calor y sin contacto con el agua, perdiendo resistencia y provocando una inminente explosión.



Fuente: ResearchGate., Figure 12 - Uploaded by Stuart Lyon.

Fig. 2-2. Explosión de caldera por agrietamiento cáustico.

2.3.12 Trouble Shooting de Caldera Acuotubular.

TROUBLE SHOOTING PARA INTERVENCIONES EN CALDERA ACUOTUBULAR					
SITUACION	ORIGEN	SINTOMA	CAUSA	EVIDENCIA QUE OBSERVAR	POSIBLE SOLUCION
Calderas acuotubulares con presión Normal, otros síntomas	Problemas en Bomba de Agua	Ruidos en bomba	Impulsores rozando interiormente	Ruido agudo	Medir y comparar con datos de PTS
		Ruido en la caja de bomba	Aceite Contaminado	Inspección visual	Cambiar aceite
			Rodamientos malos	Medir y analizar vibraciones	Cambiar rodamientos
			Sin nivel de aceite lubricante	Inspección visual	Rellenar / Cambio de rodamientos
			Recirculación interna		Medir y comparar con datos de PTS
			Cavitación de bomba	Baja eficiencia	Revisar Temperatura/presión D-405
		Vibraciones excesivas en bomba	Solturas mecánicas de cañerías	Vibraciones en cañerías	Mejorar soporte de cañerías
			Solturas mecánicas de soportaciones	Vibraciones en conjunto Bomba	Mejorar soportación de motor-bomba
			Desbalanceo	Vibraciones en conjunto Bomba	Revisar concentricidad de eje bomba
			Desalineamiento	Vibraciones en conjunto Bomba	Revisar acople Motor-Bomba
	Problemas en Alimentación de agua	Check en línea alimentación a generador no retiene	Falla en zona de sello y bomba cavita	Retorno de presión de vapor hacia atrás y no levanta misma presión que generador	Cambio de check
		Generador baja nivel	D-405 sin nivel. Bomba cavita. Transmisor de nivel lectura falsa	Baja presión de descarga de bomba.	Chequear nivel IT-6 y bomba alimentación al desaireador. Chequear transmisor de nivel
	Desaireador	Desaireador con problemas	Temperatura alta	Inspección Visual, termómetro	Válvula reguladora vapor PCV-800 con falla. Reparar trampas de vapor malas de la planta
			presión Alta	Inspección Visual, revisar manómetros entrada/salida de la PCV-800	Válvula reguladora vapor PCV-800 con falla. Reparar trampas de vapor malas de la planta
			Alarma de nivel alto/bajo D-405	Inspección Visual Indicador de temperatura D-405/ Mod5	Falta de suministro de agua. Chequear nivel IT-6 y bomba alimentación al Desaireador.
					Supply válvula cortado/válvula de control nivel con falla
					Para nivel alto Bypass de válvula de control con problemas
					Transmisor con falla / Cambiar
	Chimenea	Temperatura alta	Mala combustión	Inspección Visual en T1 local/Chimenea	Revisar regulación de links, para mejorar combustión
			Caja de humos tapada	Inspección Visual en T1 local/Chimenea	Limpiar caja de humos, retirando hollín en parte superior de domo y tubos

	Combustible	Excesivo consumo de combustible	Mala carburación (relación Aire/Combustible)	Tipo de llama, consumo en mod 5 (pagador)	Regular brazos, aire-combustible (hay un compromiso en la relación de aire-combustible que tiene que servir tanto para el encendido, llama baja y alta).
			Mala calidad de combustible Fuel Gas	Tipo de llama, consumo en mod 5	Consultar a distribuidor, drenar líquidos en D-412 y/o Válvulas llegada a calderas
			Entrada de aire semitapada	Tipo de llama, consumo en mod 5, Bajo en O2	Revisar malla superior, entrada ventilador
			Deflector de aire fundido, torcido, tapado	Tipo de llama, consumo en mod 5	Acceder a deflector e inspeccionar
		Humos en chimenea	Mal ajuste en la relación aire combustible	Cambio en la composición del Gas, líquidos en D-412 y regulador PCV-763; mala regulación regulador de entrada (13" H2O)	Llamar a distribuidor, solicitando información al respecto
					Reajustar los links para las nuevas condiciones; reajustar regulador de entrada
			Falla en unidad Veritrim	Display indicando valores erráticos; Exceso de O2 fuera de los rangos de control	Falla en sensor de O2 / Reajustar relación Aire-Combustible /llamar a especialista
				Unidad esta desenergizada	Revisar interruptor en panel Generador vapor y conectar / llamar a especialista
				Falla en verilink (está en posición neutra), con luz roja en panel encendida	Llamar a especialista
	Otros Problemas	Fugas de vapor	Fuga por mirilla de vidrio	Visual	Retirar para reparar fuga (Revisar Procedimiento)
			Fuga por válvulas	Visual	Reparar fuga
			Fugas por piping	Visual	Reparar fuga
Una caldera acuotubular fuera de servicio	Caldera Fuera de Servicio	Falta de suministro eléctrico	Problemas en cubículo alimentación al control (MCC-8)	Revisar voltaje de salida y fusibles	Normalizar cubículo
			Problemas en panel de control, Generador de Vapor	Interruptor termomagnético operado	Revisar circuito de control y conectar interruptor/llamar especialista
			Variador de frecuencia sin energía	Revisar voltaje de salida de cubículo MCC-8	Normalizar cubículo
			Variador de frecuencia con problemas	Variador tripeado, o sin display	Reiniciar variador, revisar según diagnósticos indicados en display/llamar especialista
		Problemas en etapa de pre-purga / purga	Problemas en Fireye	Contactos posteriores defectuosas	Limpiar contactos, Restituir tensión de contactos
				Unidad con problemas	Cambiar Fireye/revisar en taller con unidad de test
				Sensor UV con falla	Limpiar lente
					Centrar posición / cambiar sensores
			Problema en microswitch de dâmpen	Medir resistividad de contactos y comparar con lógica de control	Abrir unidad y cambiar switch/llamar especialista
			Problema en Timer de tiempo de pre-purga	Medir contacto y comparar con lógica de control	Normalizar control/llamar especialista

			Bajo Flujo de aire, baja presión	Medir contacto de limit switch y comparar con lógica de control	Inspeccionar / limpiar rejilla parte superior de generador (succión ventilador)
				Verificar operación de motor ventilador	Verifica accionamiento de dâmpers
Problemas de encendido	Problemas en Fireye			Revisar switch de test	Colocar en posición Normal
				Térmico de Fireye operado	Resetear Fireye
	Problemas en solenoide encendido			Revisar circuito de control	Medir para descartar bobina quemada
				Revisar regulador de presión PCVC-763	Cambiar solenoide/ajustar salida del PCV-763 en 2 Psig
				Verificar que llegue fuel gas, o que sea de buena calidad	Revisar circuito de alimentación de fuel gas, posible válvulas cerradas, líquido en D-412 y líneas de llegada
	Problemas de relación aire-combustible				Hacer prueba de encendido con gas propano
					Mejorar fijación / Regular links para un buen encendido/exceso de aire llama se apaga (tiene que estar en el mínimo)
					Ajustar gap de bujía
	Problemas con chispa			bujía no opera correctamente (verificar desde visor opuesto)	Ajustar posición de bujía
					Revisa cable eléctrico de A.T./Revisar trafo de alta, llamar especialista
Problemas suministro de aire del ventilador	Pressure switch aire malo			Medir resistividad de contactos y comparar con lógica de control	Revisar operatividad/setting
	Problemas suministro de aire del ventilador	Dâmpers de aire con problemas		Accionamiento trabado	Revisar dâmpers por trabamiento o torcido
		Ventilador malo		Verificar operación de motor ventilador	Revisar/resetear térmico o fusibles
					Reparar / Cambiar motor
		Deflector aire tapado		Abrir y asegurar sé que paso de aire estén despejados	Limpiar/despejar
		Succión ventilador tapada		Dificultad para mantener llama después de encendido, toca alarma de baja presión de aire	Revisar/limpiar malla superior succión de ventilador
		Relación aire/combustible inadecuada		observar forma de llama y O2	Modificar links de relación aire/combustible
				Revisar control de link ajustable	Revisar unidad de control de O2
Problemas suministro de Fuel gas (en caldera)	Válvulas principales no abren			Observar carrera de vástago de actuadores	Cambio de Válvulas principales/llamar especialistas
	Switch de posición de válvulas principales no actúan			Medir resistividad de contactos y comparar con lógica de control	Cambio de limit switch de posición
	Válvula solenoide venteo abierta			Revisar control para verificar alimentación a bobina	Cambiar solenoide / bobina

			reguladora de presión PCV-763 con falla	No regula, observar manómetro de salida (2Psig)	Cambiar PCV-763
				Fuel gas con liquido	Drenar estanque de llegada D-412
					Drenar líneas de alimentación de fuel gas, drenar válvulas principales
			Surtidor gas tapado	Abrir e inspeccionar paso de gas a hogar	Limpiar paso de gas y surtidor de gas
			Válvula controladora de gas con falla	Observar posición de mariposa a través de marca en eje y ajuste límite de cierre (tornillo)	Modificar tope de límite de carrera (cierre),
					Mejorar sujeción de base de accionamiento de links con eje de válvula
			Alta/Baja presión de Fuel Gas en entrada a generadores	PI salida en Válvula reguladora PCV-763, manómetro entrada al hogar	Drenar líquidos
					Regular / Cambiar Válvula reguladora PCV-763, revisar reguladores de entrada (13" H2O), cambiar manómetro entrada al hogar
					Revisar válvula reguladora de entrada de gas a cada generador
			Presostato de alta presión de fuel gas operado	Switch operado/observar PI entrada al hogar, enciende alarma	Resetear
					Revisar/cambiar regulador PCV-763 y Regulador de entrada a calderas, manómetro entrada al hogar
			Presostato de baja presión de fuel gas operado	Switch operado, enciende alarma	Resetear
				Observar PI entrada hogar	Revisar operación de válvulas principales
					Revisar operación de válvula venteo, cambiar manómetro entrada al hogar
		Problemas de suministro de Fuel Gas (alimentación)	Fuel gas con condensables	Líquidos al drenar D-412	Continuar drenando D-412 y salida válvula autorreguladora PCV-763
				Estanque entrada planta con alarma líquidos	Cambiar relación aire/combustible
			Bajo poder calórico de fuel gas	Consultar a Petrox	Cambiar relación aire/combustible
		Problemas con va de suministro de agua	Problemas con pressure switch descarga bomba	PI local indica presión de descarga normal	Cambiar Pressure switch
			Bomba no descarga presión suficiente	Filtro succión tapado	Limpiar filtro
				línea de descarga obstruida (check mala)	cambiar check
				Bomba cavitando, bajo nivel en desaireador, alta temperatura del desaireador	Revisar condiciones de presión/temperatura en Desaireador; reponer niveles y temperatura
			Bomba con baja eficiencia, recirculación interna	Bomba con sellos mecánicos defectuosos	Reparar sellos mecánicos
				Excesivo juego entre caja y cuerpo de bomba	Medir juegos y restituirlos

				excesivo juego entre impulsores y caja	Medir juegos y restituirlos
			Sobrecarga de motor de bomba	Vibraciones en Motor por excesivo juego en cajas de rodamientos	Ajustar cajas de rodamientos
				Temperatura alta de estator	Cambio de Rodamientos
					Revisar Bomba / Motor
				Vibraciones en Motor por rodamientos malos en motor	Desacoplar bomba y medir en vacío
			Problemas en variador de frecuencia de motor	Opera sobrecarga de motor en variador de frecuencia.	Cambio de Rodamientos
				Variador de frecuencia sin alimentación eléctrica	Tomar nota de indicación de display y revisar motor
				Señal de warning/alarma en Variador de frecuencia	Revisar en cubículo de alimentación
				Problemas en el control de velocidad	Tomar nota de indicación de display y corregir problema/resetear unidad/avisar especialista
			Transmisor de Nivel Domo con Problemas		Tomar nota de indicación de display y corregir problema/resetear unidad/avisar especialista
					Cambiar variador de frecuencia
				Nivel visual diferente a indicación de transmisor	Reparación de transmisor / chequear tomas despejadas
		Baja eficiencia caldera	Placa entre tubos rota	agua en interior de hogar	Abrir caldera e inspeccionar interior, arriba y abajo de los tubos. Parchar roturas
			Tubos exterior sucios	Baja eficiencia (baja presión y alto consumo de fuel gas), alta temperatura en chimenea	Limpieza exterior e interior de tubos
			Tubos interior sucios	Baja eficiencia (baja presión y alto consumo de fuel gas)	Limpieza exterior e interior de tubos. Revisar tratamiento de agua (aditivos)
			Caja humos tapada	Baja eficiencia (baja presión y alto consumo de fuel gas)	Limpieza superior de domo y caja de humos. Ajusta carburación
		Fugas de presión / vapor	Nivel visual con fugas	Vapor se pasa por sellos	Reparar visor de nivel (ver procedimiento)
			Purga de fondo con problemas	Válvula se pasa	Cambiar válvula
		Falla control en Mod5, de generadores de vapor	Mod5 no da autorización para operación de generador	Revisar Dowtran	Solucionar problema identificado en Dowtran (settings, AP's, etc)
Caldera Operando con Problemas.	Caldera presenta problemas al operar	Problemas en desaireador	Temperatura alta	TI indica alta temperatura	Revisar regulador PCV-800 y suministro de vapor/revisar bypass (se pasa)
			presión baja	PI indica alta presión	Revisar regulador PCV-800 y suministro de vapor
			Mala alimentación de agua	Nivel bajo	Revisar operación de válvula de control
				Estado de bypass de válvula de control	Bypass debe estar cerrado
				Bomba de suministro de agua	Bomba debe estar operando

				desde Planta de Agua	Alineamiento de válvulas debe estar bien
				Falla suministro aire instrumentación	Revisar válvulas, abrir bypass entrada de agua a desaireador, Revisar compresor de aire, torres de secado, etc.
				Falta de energía eléctrica 4160 V	abrir bypass entrada de agua a desaireador, No hay aire sin alimentación 4160 V.
			Transmisor de nivel con problemas	Transmisor con tomas tapadas	Drenar tomas de transmisor
				Transmisor malo	Cambiar Transmisor

Fuente: trouble shooting de petroquímica dow SA.

Tabla 2-1. Trouble Shooting de Caldera Acuotubular.

CAPITULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO.

3.1 PRESENTACION DEL TEMA.

Como parte final de este estudio es importante saber y entender cuál es la finalidad de desarrollar un plan de mantenimiento y su objetivo. Previamente se dio a conocer que es una caldera generadora de vapor de media presión, en que consiste y su funcionamiento, junto a eso también se explicaron las fallas y problemas que se pueden generar durante su puesta en marcha y es que en base a eso, la importancia de generar una planificación de mantenimiento y procedimientos que se llevaran a cabo para analizar las tareas que se deben efectuar para solucionar o mejorar las averías antes, durante y después y con qué frecuencia de tiempo se deben realizar.

Para cumplir con lo anteriormente señalado, se debe recopilar de manera organizada toda la información de la caldera, sus recursos materiales y humanos, para así mediante los procedimientos de mantención, llevar a cabo este programa para minimizar a corto y largo plazo el efecto financiero de las pérdidas accidentales o de producción y para mejorar la calidad del proceso y alargar la vida útil del equipo.

3.2 QUÉ ES EL MANTENIMIENTO.

¿Qué es el mantenimiento? Para dar respuesta a esta interrogativa sería ideal viajar hasta los años 70, en Gran Bretaña, donde nace esta nueva tecnología, la Terotecnología (*del griego conservar, cuidar*) cuyo avance en el tiempo es más amplio que conservar un equipo o elemento.

Desde su significado, la Terotecnología es *"el conjunto de prácticas de gestión, financieras y técnicas aplicadas a los activos físicos para reducir el coste del ciclo de vida"*. Aquello nos lleva a la idea de entender que el mantenimiento comienza con el proyecto de la máquina, dado que, para poder efectuar un óptimo mantenimiento es indispensable comenzar desde la especificación técnica del equipo y seguir con su recepción, instalación y puesta en marcha, así, el conjunto de información se traspa al personal que llevará a cabo el plan de mantenimiento para tener un concepto claro de análisis y establecer una referencia de la máquina o equipo en cuestión para posteriormente generar una evaluación de su funcionalidad y rendimiento.

En resumen, el objetivo del generar un plan de mantenimiento es mantener o preservar un equipo en condiciones seguras durante un periodo de tiempo para que se garantice un control y funcionamiento óptimo bajo estándares establecidos, además, de reducir costes de producción en caso una posible detención por falla.

Por lo tanto, los principales objetivos de una óptima gestión del mantenimiento son:

- Minimizar la pérdida de tiempo de producción debido a las fallas de los equipos para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la planta para su máximo aprovechamiento productivo a través de un mantenimiento planificado.
- Extender la vida útil del equipo y sus componentes reduciendo su deterioro.
- Minimizar las pérdidas por detenciones de producción.
- Asegurar la disponibilidad operacional de todo el equipo de emergencia en caso de incendio o explosión.
- Garantizar la seguridad de los operadores mediante la inspección y mantenimientos periódicos de instalaciones como calderas de vapor, compresores, y equipos manuales.
- Maximizar la rentabilidad y efectividad de la producción mediante la utilización óptima de las instalaciones a disposición.
- Minimizar el coste total del mantenimiento, que consiste en reparaciones, repuestos, aplicación de planes de mantención y personal.
- Mejorar la calidad de los productos junto a la productividad de la planta, fiabilidad, disponibilidad y mantenimiento.

3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO.

Las máquinas, equipos, sistemas e instalaciones han evolucionado a lo largo del tiempo, esto principalmente se debe a los avances de la tecnología, que van de la mano con la sofisticación y los requerimientos que puede tener, en base a eso, van exigiendo una mejora continua en los procesos de mantenimiento y un análisis más riguroso de parte del gestor del plan de mantenimiento.

En síntesis, a mayor existencia de requerimientos, más son las necesidades de una mantención, entendiendo esto, podemos definir los 5 tipos de mantenimiento que se diferencian entre sí por las cualidades de las tareas que incluyen, estos son:

- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento cero horas (overhaul).
- Mantenimiento en uso.

3.3.1 Mantenimiento preventivo.

Es el mantenimiento que tiene por objetivo mantener un nivel de servicio determinado en los equipos mediante la planificación de acciones orientadas a evitar que se produzcan fallas o averías, las intervenciones se programan de manera sistemática, es decir, se interviene aun que el equipo no de síntomas de presentar un problema en su funcionamiento, su intención es reducir la probabilidad de falla.

3.3.2 Mantenimiento correctivo.

Es el conjunto de acciones ejecutadas con el objetivo de corregir las incidencias que se van presentando en el momento, lo que lo hace ser completamente reactivo. A partir de ahí, el personal da aviso al departamento de mantenimiento para diagnosticar las causas y llevar a cabo la ejecución del plan de mantención.

3.3.3 Mantenimiento predictivo.

Es aquel mantenimiento que es capaz de predecir el momento que van a producirse las fallas y dar solución antes que suceda. El sistema detecta fallas potenciales y actúa en conjunto de acciones previas para evitar que ocurran averías, esto es posible en base a la información recopilada, condiciones de funcionamiento y las acciones realizadas previamente.

3.3.4 Mantenimiento cero horas (overhaul).

Es el conjunto de actividades cuyo objetivo es revisar el equipo en intervalos programados antes de que ocurra una falla, esto mediante a inspecciones regulares que ayudan a prevenir todo tipo de problemas, dicha revisión consiste en dejar el equipo en condiciones de fábrica, es decir con cero horas de funcionamiento. En estas revisiones se sustituyen o reparan los elementos sometidos a desgaste por uso, que pretende asegurar un óptimo funcionamiento a través del tiempo.

3.3.5 Mantenimiento en uso.

Este tipo de mantenimiento está basado en recopilar toda la información elemental (toma de datos, lubricación, limpieza, inspecciones visuales, reaprietes) para llevar a cabos las tareas básicas por el mismo personal del equipo.

3.4 METODOLOGIAS DEL MANTENIMIENTO.

Según los requerimientos, existen distintos tipos de metodologías aplicables para una gestión del mantenimiento, cada una de ellas adaptable según las necesidades y disponibilidad de la empresa. Estas son:

- Mantenimiento productivo total (TPM): Se basa en la idea de que todos los operadores de producción de la planta deben incorporar en su rutina diaria las tareas cotidianas de mantenimiento, ya que es el mismo personal quien tiene conocimiento del equipo y puede anticipar las posibles fallas.
- Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM): Es una metodología la cual se basa en reducir el impacto de las fallas mediante la comprensión del funcionamiento del equipo, identificando posibles averías, causas, criticidad y proponer medidas para su corrección.
- Gestión integral del mantenimiento: Se define como el proceso de mantenimiento de los activos y recursos de una empresa, la cual se basa en tener un control de los recursos, tiempos y costes, donde la administración de mantenimiento engloba diversas áreas para una mejor gestión y organización.

- **Administración del mantenimiento:** Se basa en crear una organización conformada por el personal y los recursos de la empresa, la cual se encarga de la gestión, supervisión, planificación, y ejecución de las actividades de mantención, su principal objetivo es optimizar los recursos y maximizar la disponibilidad de los equipos.

La importancia de saber seleccionar una buena gestión del mantenimiento radica no solo en mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, si no también saber el tipo de mantenimiento a aplicar dependiendo el tipo de requerimiento que se solicita, es más bien una función de servicio inevitable para un sistema de producción eficiente, la cual considera variados factores como costes, personal de operación, registro de componentes, y tiempo.

Por lo tanto, la ausencia de una gestión de mantenimiento resulta un riesgo para el funcionamiento y producción de la empresa, considerando esto para optimizar los recursos disponibles es imprescindible planificar, organizar, programar y controlar un plan de mantenimiento para su ejecución, dicho esto se dará detalle de cada punto a gestionar.

- **Planificación:** Establece los objetivos de ejecución y desarrollar decisiones sobre cómo alcanzarlos.
- **Organización:** Establece las tareas o en qué forma se dividirá el trabajo a realizar, organiza los recursos de mantenimiento, y coordina las actividades para ejecutar un plan de mantenimiento acorde al requerimiento.
- **Programación:** Una vez planificado y organizado las tareas, establece el día y el orden de ejecución de estos, supone, en tanto, un trabajo de gestión previo a la ejecución para determinar localización de la falla, diagnósticos, acciones correctivas, prioridades y el orden del plan de mantenimiento.
- **Control:** Evalúa el funcionamiento de los equipos en mantenimiento y toma medidas preventivas y correctivas para cumplir con las especificaciones requeridas.

3.5 EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO.

Como último punto, luego de investigar y entender qué es y cómo funciona una caldera generadora de vapor, también se analizó cuáles pueden ser sus potenciales fallas o averías que pueden presentarse durante su funcionamiento y como poder solucionarlas. Esto abre puerta a la necesidad de gestionar un plan de mantenimiento que mejor se adapte a las características, requerimientos del equipo y como aplicarlo.

Con el fin de ejecutar el plan de mantenimiento para una caldera de media presión se ha realizado una estimación de los costos de cada actividad en base a los valores de repuestos y de las horas hombre del personal (h/h) que lleva a cabo el plan de mantención.

Para la ejecución de la actividad, se dispone de un personal calificado y certificado para el desarrollo de las tareas asignadas, denominados **Mecánico 1** y **Mecánico 2**, con base a los cuales se calcula el costo de la mano de obra del plan de mantenimiento. Durante el desarrollo, a cada labor se le asignó un personal a cargo de la actividad, el cual puede ser **Mecánico 1**, **Mecánico 2**, o el operador asignado que es parte de una contratista. Cada uno de estos tiene un valor hora calculado a partir de su sueldo básico mensual, este valor hora corresponde al costo total del mecánico en un mes dividido en 30 días para posteriormente dividir el resultado en 8, que son las horas trabajadas diarias.

Lo anterior, se ejemplifica de la siguiente manera, en el personal calificado para el plan de mantención, **Mecánico 1**, tiene un sueldo básico (bruto) de \$1.500.000, al dividir este valor en 30 días, se obtiene que diariamente devenga \$50.000, que luego al dividir el valor por hora diaria de trabajo, que son 8 horas, obtiene un valor vr/hr de \$6.250. El valor de **Mecánico 2**, es de \$1.350.000, que diario corresponde a un valor de \$45.000 por lo que su hora de trabajo equivale a \$5.625, por otro lado, las labores de reparación y mantenimiento requieren de la asistencia de un personal **Contratista**, cuyo valor/hora corresponde a \$3.460.

3.5.1 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo tiene una gran ventaja frente al mantenimiento preventivo y es que en la mayoría de las ocasiones no se necesita realizar desmontajes de los equipos ni tampoco detenciones para realizar un procedimiento de mantención.

3.5.1.1 Mantenimiento predictivo.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD (H)	H/H RRHH	VALOR
1.-	Análisis de Ultrasonido	Ejecutar análisis de ultrasonido mediante equipo de ensayo no destructivo para la detección de fugas, verificación de purgadores de vapor, detección de fallas eléctricas, ensayos de estanqueidad, cavitación, análisis de funcionamiento de válvulas hidráulicas y neumáticas.	Mec. 1	3	6250	\$ 18.750
2.-	Análisis Termográfico	Ejecutar análisis termográfico apuntando hacia la zona de el objetivo mediante el instrumento procurando que no exista una diferencia de temperatura ni variables que indiquen roturas, sobrecalentamientos o emanación de gases.	Mec. 1	3,5	6250	\$ 21.875
3.-	Análisis de gases de Combustión	Diagnosticar la eficiencia de combustión de las concentraciones de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros para la transferencia de calor dentro de la caldera	Mec.2	4	5625	\$ 22.500
4.-	Análisis de vibraciones	Ejecutar análisis de vibraciones para obtener diagnósticos de fallos mecánicos en equipos rotativos como desequilibrios, desalineación, holguras, roces, ejes doblados, poleas excéntricas, etc.	Mec. 2	2,25	5625	\$ 12.660
5.-	Análisis de Lubricación	Ejecutar análisis de lubricación para determinar el deterioro del lubricante, la entrada de contaminantes, viscosidad y la presencia de partículas de desgaste.	Mec. 1/Mec. 2	1,75	11875	\$ 20.780
6.-	Análisis Boroscópico	Ejecutar análisis boroscópico mediante el instrumento para obtener imágenes y observar el estado de la cámara de combustión, válvulas, fallas en uniones, o fugas en haces tubulares de difícil acceso.	Contratista	2	3460	\$ 6.920
					VALOR TOTAL	\$ 103.485

Tabla 3-1. Plan de mantenimiento predictivo.

3.5.2 Técnicas para realizar el mantenimiento predictivo.

3.5.2.1 Análisis de vibraciones.

Esta técnica de mantenimiento está basada en la detección de fallas principalmente en equipos rotativos. Por medio de niveles de vibración y la toma de datos, se obtiene un espectro de vibraciones con el cuál se llevan a cabo los distintos análisis para determinar el estado del equipo.

Una de las técnicas del análisis de vibraciones es el análisis de espectro, la cual se descompone la vibración según su frecuencia, analizando los niveles de vibración se puede obtener las causas de falla.

Para el análisis se requieren los siguientes elementos:

- Computador (Almacena señales).
- Tarjeta de adquisición de datos (Interfase)
- Sensor (Capta la vibración del equipo).
- Software de análisis (Realiza la descomposición de las señales e ilustra la representación gráfica).



Fuente: IQ S.A.C., Instrumentación y control.

Fig. 3-1: Analizador de vibraciones FLUKE 810.

3.5.2.2 Termografía.

Esta técnica en el mantenimiento predictivo se basa en todo equipo que emite energía desde su superficie. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que se transportan a la velocidad de la luz a través de cualquier medio. Mediante la radiación infrarroja, la cual es invisible para el ojo humano, es capaz producir una imagen emitida por los diferentes objetos dependiendo de su temperatura superficial.

La energía emitida está directamente relacionada con la temperatura de la superficie u objeto, cuanto más caliente se encuentre, mayor será la energía emitida.

La termografía tiene como ventaja que puede detectar sin contacto físico con el equipo o elemento, cualquier falla que se manifieste provocante un aumento de la temperatura.



Fuente: Intronica Ltda.

Fig. 3-2: Cámara termográfica TiS75+.

3.5.2.3 Ultrasonido.

Esta técnica del mantenimiento predictivo estudia las ondas sonoras de alta frecuencia producidas por algunos equipos e instalaciones, las cuales no pueden ser percibidas por el oído humano, la que también permite la detección de fricción en máquinas rotativas, fugas de fluido y fallas en válvulas.

Esta tecnología tiene como principio que todas las fricciones mecánicas, fugas de presión, o vacío producen ultrasonido en frecuencias alrededor de los 40.000 Hz, al ser ondas de corta longitud, en algunos casos el ruido ambiental interfiere en la medición.



Fuente: Olympus IMS.

Fig. 3-3: Equipos de Ultrasonido.

3.5.2.4 Boroscopia.

Esta técnica consiste en inspecciones visuales en sitios inaccesibles para el ojo humano, el boroscopio reemplaza esta necesidad, el cual consiste en un dispositivo largo y delgado en forma de una manguera, la cual en el interior posee un sistema telescópico con diversas lentes de gran resolución.

El boroscopio es indispensable para realizar trabajos de inspección en las partes internas de determinados equipos sin la necesidad de realizar grandes desmontajes. Se utiliza en partes internas de motores térmicos, turbinas a gas y vapor y para el análisis de determinadas partes de una caldera, como domos o haces tubulares.



Fuente: Proconsa S.A.

Fig. 3-4: Boroscopio portátil.

3.5.3 Mantenimiento preventivo.

A continuación, se dará ejecución al plan de mantenimiento preventivo de la caldera generadora de vapor, lo cual implicará las actividades a realizar mediante el análisis e inspección, las acciones para prevenir fallas o averías, donde se indica la periodicidad y los costos implicados en la cual deben efectuarse las acciones para reemplazar, verificar y comprobar todos los componentes necesarios para un adecuado funcionamiento del equipo.

3.5.3.1 Mantenimiento preventivo diario.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD (H)	H/H RRHH	VALOR
1.-	Inspeccionar el funcionamiento del ventilador del quemador.	Verificar que los componentes del quemador están en óptimo funcionamiento.	Mec. 1	0,5	6250	\$ 3.125
2.-	Verificar que los componentes del quemador están en óptimo funcionamiento	Comprobar visualmente que sea de forma homogénea, llama rojiza o amarillo brillante (petróleo), llama celeste con punta rosácea (gas).	Mec. 1	0,25	6250	\$ 1.563
3.-	Revisar la columna de nivel de agua.	Comprobar bulbo de mercurio de tres hilos, funcionamiento del flotador y que la columna esté exenta de lodos o sedimentos.	Mec. 1	0,25	6250	\$ 1.563
4.-	Verificar temperatura del agua de condensado.	Registrar temperatura del agua, de los gases de chimenea, que no debe sobrepasar 80 °C a la (T°) de vapor saturado.	Mec. 2	0,5	5625	\$ 2.813
5.-	Registrar temperatura del agua, de los gases de chimenea, que no debe sobrepasar 80 °C a la (T°) de vapor saturado.	Tomar muestra en válvula de muestreo y medir, añadir productos químicos para ablandar y eliminar incrustaciones o sedimentos, realizar pruebas de calidad del agua.	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
6.-	Verificar funcionamiento de programador.	Comprobar ciclo de pre-purga, ignición, prueba de llama, llama principal y post-purga.	Mec. 1	1	6250	\$ 6.250
7.-	Efectuar purgas de fondo, de columna de agua y superficie.	Abrir válvula de purga rápida y luego la válvula de purga de apertura lenta, cuando el nivel haya caído ¾" cierre la válvula de apertura rápida, la purga del tubo de nivel y de superficie se realizará de acuerdo con el procedimiento de pruebas de vapor, abriendo la válvula de venteo, cuando el quemador esté bajo.	Mec. 1/Mec. 2	1,5	11875	\$ 17.813
8.-	Revisar válvulas de vapor y agua.	Verificar y registrar fugas en las juntas	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
9.-	Revisar retorno de condensado.	Verificar la presencia de óxido o solido en suspensión.	Mec. 2	0,5	5625	\$ 2.813
10.-	Realizar limpieza exterior de la caldera de vapor	Limpiar la superficie exterior de la caldera, área de trabajo y equipo auxiliar.	Mec. 1	2	6250	\$ 12.500
11.-	Registrar la temperatura y presión de los instrumentos de medición	Controlar la temperatura del tanque de condensado, la presión del agua de alimentación y la presión de trabajo de la caldera de vapor.	Contratista	0,5	3460	\$ 1.730
VALOR TOTAL						\$ 61.418

Tabla 3-2. Plan de mantenimiento preventivo diario.

3.5.3.2 Mantenimiento preventivo (3 días).

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Revisión de la trampa del calentador de vapor	Comprobar que la trampa de vapor filtre correctamente el vapor condensado y los gases no condensables como el aire y que no existan fugas de vapor	Mec. 2	1,5	5625	\$ 8.438
2.-	Limpieza de filtros de combustible	Limpiar los filtros de combustible que se encuentran en la succión de la bomba	Mec. 1	1	6250	\$ 6.250
VALOR TOTAL						\$ 14.688

Tabla 3-3. Plan de mantenimiento preventivo 3 días.

3.5.3.3 Mantenimiento preventivo semanal.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Limpiar filtros de combustible y toberas.	Desmontar toberas y filtros, y limpiar sedimentos	Mec. 1	2,5	6250	\$ 15.625
2.-	Limpiar electrodo de encendido.	Limpiar el hollín formado y mantener la separación adecuada.	Mec. 1	0,5	6250	\$ 3.125
3.-	Revisar sistema de detección de llama.	Cierre la válvula de combustible para extinguir la llama, el ventilador debe estar en óptimas condiciones y en 30 segundos aprox. Se debe encender el foco piloto por falta de llama, apague el quemador y espere que baje la (Tº), reestablecer programador y abrir válvula de combustible.	Mec. 2	0,75	5625	\$ 4.219
4.-	Verificar condiciones de llama y humo.	Regular la presión de combustible y el dámper de suministro de aire.	Mec. 2	0,5	5625	\$ 2.813
5.-	Verificar fugas en conexiones de válvulas de combustible.	Realizar ajustes en las uniones roscadas y comprobar su hermeticidad.	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
6.-	Probar los controles de nivel y de alarma por bajo nivel de agua.	Verificar que el control del quemador este en fuego bajo, y apague bomba de alimentación de agua, permita que el control de nivel apague la caldera y active la alarma de nivel bajo.	Mec. 1	1	6250	\$ 6.250
7.-	Inspeccionar los prensaestopas o sellos mecánicos de las bombas de alimentación de agua.	Verificar y reajustar los pernos de los prensaestopas.	Mec. 1/Contratista	1	9710	\$ 9.710
8.-	Comprobar que no hay fugas de gases ni de aire en las juntas de ambas tapas ni en las mirillas.	Sellar las fugas y reajustar pernos de las tapas.	Mec. 1	1	6250	\$ 6.250
9.-	Revisar y limpiar el filtro de compresor de aire.	Limpiar el filtro de aire o reemplazar si es necesario.	Mec. 2	1,5	5625	\$ 8.438
VALOR TOTAL						\$ 62.054

Tabla 3-4. Plan de mantenimiento preventivo semanal.

3.5.3.4 Mantenimiento preventivo quincenal.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Realizar limpieza de todos los filtros	Hacer limpieza de los filtros de agua, aceite combustible y aceite lubricante	Mec. 1	3	6250	\$ 18.750
2.-	Probar la operación por falla de flama	Revisar el combustible, la fotocelda, el circuito limite, si el interruptor automático está funcionando correctamente y el nivel del agua	Mec. 2	1,5	5625	\$ 8.438
3.-	Revisión del quemador	Revisar las condiciones del quemador, presión, temperatura, etc.	Mec. 2/Contratista	1	9085	\$ 9.085
4.-	Revisión de niveles de entrada y paro de bomba	Revisar los niveles de entrada y paro de bomba haciendo uso de las válvulas de purga del fondo de la caldera	Contratista	0,75	3460	\$ 2.595
5.-	Revisión de fotocelda	Asegurarse que la fotocelda este limpia al igual que el tubo en donde se encuentra colocada	Contratista	0,75	3460	\$ 2.595
VALOR TOTAL						\$ 41.463

Tabla 3-5. Plan de mantenimiento preventivo quincenal.

3.5.3.5 Mantenimiento preventivo mensual.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Inspeccionar el funcionamiento del quemador, desarmando y limpiando el sistema de encendido y los electrodos.	Limpiar los electrodos y darle tolerancia adecuada, limpiar las toberas, y regular la cantidad de aire y gas para mantener estabilidad de la llama en el quemador.	Contratista	1,5	3460	\$ 5.190
2.-	Limpiar los filtros del combustible.	Purgar, y retirar los sedimentos acumulados.	Mec. 1	2	6250	\$ 12.500
3.-	Limpiar las toberas.	Inspeccionar, limpiar y retirar la suciedad acumulada.	Mec. 1	0,7	6250	\$ 4.375
4.-	Limpiar el filtro de agua de alimentación.	Realizar las purgas correspondientes, y retirar los sedimentos acumulados,	Mec. 1	1	6250	\$ 6.250
5.-	Limpiar mirillas.	Esta acción se realiza cuando la caldera se encuentra totalmente apagada o antes de encenderla, limpiar y secar.	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
6.-	Lubricar los rodamientos y piezas móviles.	Aceitar los rodajes, ejes y partes móviles.	Mec. 2	1,75	5625	\$ 9.844
7.-	Verificar el alineamiento de la bomba de agua con el motor eléctrico.	Realizar mediciones con un instrumento de medición (reloj comparador) y verificar alineamiento.	Mec. 2/Mec. 1	1,5	11875	\$ 17.813
8.-	Verificar el sistema eléctrico del motor del ventilador.	Verificar intensidad de la corriente del motor, desarmar y revisar el rotor y los alabes, limpiar entrada de aire.	Contratista	1,5	3460	\$ 5.190

9.-	Verificar, limpiar y probar las válvulas solenoides y de control.	Limpiar y verificar su funcionamiento mediante pruebas eléctricas, si están en malas condiciones, reemplazarlas.	Contratista	2,5	3460	\$ 8.650
10.-	Verificar, limpiar y probar las válvulas de seguridad	Inspeccionar las posibles fugas de vapor y corregirlas.	Mec. 1/Contratista	1	9710	\$ 9.710
11.-	Verificar el tablero y los controles eléctricos del quemador, fotocelda, presostatos, transformador de ignición.	Inspeccionar cables que se encuentran recalentados, contactos, relés y corregir su estado.	Mec. 1	1,5	6250	\$ 9.375
12.-	Verificar mediante análisis los gases de combustible	Comprobar mediante un analizador de gases la combustión para su regulación.	Mec. 1	2	6250	\$ 12.500
13.-	Inspeccionar los puntos calientes o fallas en el refractario de la caldera.	Comprobar utilizando un termómetro infrarrojo.	Mec. 2	0,75	5625	\$ 4.219
14.-	Inspeccionar el sistema de tuberías de gas o combustible, si se llega a percibir olor a gas, proceder inmediatamente a la detención.	Verificar las fugas de combustible a través de las conexiones o reguladores de válvulas, corregir después de su detención.	Mec. 2	3	5625	\$ 16.875
					VALOR TOTAL	\$ 128.115

Tabla 3-6. Plan de mantenimiento preventivo mensual.

3.5.3.6 Mantenimiento preventivo trimestral.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Observación del termómetro de salida de gases de la chimenea	Observar el termómetro de salida de gases que se encuentra en la chimenea, cuando esté 80°C sobre la temperatura del vapor saturado, esto indica que la caldera esta hollinada y hay que proceder a limpiarla	Contratista	0,5	3460	\$ 1.730
2.-	Revisión de limpieza interior de la caldera	Destapar registros de en medio y debajo de la caldera, para ver la limpieza del interior del estanque de agua. Llamar a especialista en tratamiento de agua	Mec. 2	2	5625	\$ 11.250
3.-	Aplicación de cemento refractario	Aplicar cemento refractario tanto a la tapa trasera como al refractario del hogar. Cambiar los empaques	Contratista	3,5	3460	\$ 12.110
					VALOR TOTAL	\$ 25.090

Tabla 3-7. Plan de mantenimiento preventivo trimestral.

3.5.3.7 Mantenimiento preventivo semestral.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Revisión del nivel de aceite	Comprobar el nivel de aceite del reductor de velocidad de la bomba de combustible	Mec. 1	1,5	6250	\$ 9.375
2.-	Revisión de empaques de prensa estopa	Revisar los empaques de la prensa estopa de la bomba de alimentación de agua, de estar secas, cambiar por nuevas	Mec. 1	0,75	6250	\$ 4.688
3.-	Limpieza general de los contactos del programador de flama y arrancadores	Efectuar limpieza general de los contactos del programador de flama y arranque, con un paño limpio, humedecido con tetracloruro de carbono	Mec.2	1,5	5625	\$ 8.438
4.-	Revisión de tubos fluxes	Revisar los tubos fluxes que se encuentran al lado de la caldera de estar sucios limpiar	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
5.-	Inspección del material refractario	Revisar el material refractario en el horno y la puerta trasera	Mec. 2	0,5	5625	\$ 2.813
6.-	Limpieza de grietas	Limpiar las grietas y sacar el material refractario que se haya desprendido, recubrir el mismo con cemento refractario de fraguado al aire	Contratista	1,15	3460	\$ 3.979
7.-	revisión de correas de transmisión	Revisar que las correas de transmisión tengan la tensión apropiada	Contratista	0,75	3460	\$ 2.595

8.-	Lavado interior de la caldera	Enfriar la caldera, para que baje la presión y hacer circular el agua, purgándola para que entre agua fría, hasta que el agua este totalmente fría, se debe hacer el enfriamiento en periodos de 20 a 25 minutos para que el cambio de temperatura no sea muy brusco y dañe los fluxes. Vaciar toda el agua y quitar las tortugas, quitar a reducción del manómetro que va en la tee a la salida de la bomba de alimentación de agua, colocar ahí una reducción al tamaño de la manguera que se va a utilizar. Ya habiendo puesto la manguera en la bomba, se cierra la válvula de entrada de agua a la caldera y al poner a funcionar la bomba, sale agua por la manguera a bastante presión. Con este chorro de agua se lava la caldera interiormente, se mete la manguera por todos los registros de mano hasta que quede bien limpia, tapar y limpiar bien las tortugas y asientos de la caldera.	Mec. 1/Mec. 2	4	11875	\$ 47.500
9.-	Comprobar limpieza de las columnas de control	Comprobar la limpieza de las columnas de control y de las entradas del agua de la bomba de alimentación y el inyector.	Mec. 2	1,5	5625	\$ 8.438
10.-	Inspeccionar y lavar los controladores de presión	Comprobar y lavar los pressuretroles, toda la línea de estos y la línea del manómetro.	Mec. 1	2,15	6250	\$ 13.438
11.-	Refrescar las cuerdas de los tornillos de las tortugas	Refrescar las cuerdas al tornillo de las tortugas y se les pone grafito con aceite para que no se peguen	Mec. 1	1,5	6250	\$ 9.375
12.-	Inspección de cruces	Destapar todas las cruces y comprobar que estén totalmente limpias (realizar mínimo cada 6 meses)	Contratista	1,75	3460	\$ 6.055
					VALOR TOTAL	\$ 122.317

Tabla 3-8. Plan de mantenimiento preventivo semestral.

3.5.3.8 Mantenimiento preventivo anual.

ÍTEM	ACTIVIDADES	ACCIÓN A REALIZAR	ENCARGADO	DURACION DE LA ACTIVIDAD	H/H RRHH	VALOR
1.-	Realizar la limpieza de la superficie interna de la caldera.	Limpiar la superficie con agua a presión, cambiar los tubos si existe filtración o incrustaciones, si las incrustaciones no se desprenden, se debe aplicar limpieza química	Mec. 1	3,5	6250	\$ 21.875
2.-	Inspeccionar y verificar calidad de empaquetaduras de puerta, entradas de hombre y mano	Reemplazar empaquetaduras de puerta, entradas de hombre y mano	Mec. 1	1,75	6250	\$ 10.938
3.-	Desmontar totalmente el quemador y cambiar los componentes en mal estado.	Inspeccionar y limpiar la bomba de combustible, el motor ventilador, reguladores de aire, deflector, conducto de suministro, válvulas solenoides, sensor de llamar, piloto de encendido etc. Reemplazar si es necesario.	Mec. 2/Contratista	3	9085	\$ 27.255
4.-	Desmontar el rodete y verificar su balanceo dinámico si existe vibración	Limpieza de rodete, balanceo estático y dinámico, reparación o remplazo si es necesario	Mec. 2/Contratista	4,5	9085	\$ 40.883
5.-	Inspeccionar las placas, el hogar y los tubos de la caldera.	Realizar una medición de espesores de planchas de la caldera mediante equipo de ultrasonido para calderas con más de 10 años de vida útil	Mec. 1	2,5	6250	\$ 15.625
6.-	Verificar el funcionamiento de las válvulas de seguridad.	Verificar y corregir presencia de fugas, regular y certificar la presión de descarga	Mec. 1	1,75	6250	\$ 10.938
7.-	Limpiar el tanque de condensado, controles, válvula flotadora	Limpieza exterior e interior de la caldera, regulación o cambio de válvula flotadora, cambio de termómetro y tubo visor, ajustar las conexiones, tuberías, válvulas y drenaje, reemplazar si es necesario.	Mec. 2	2	5625	\$ 11.250
8.-	Revisar el aislamiento térmico del cuerpo de la caldera.	Comprobar puntos calientes de la caldera, verificar el estado de aislamiento termino y refractario, reparación o reemplazo de cubierta de acero inoxidable 304 de 0,5 (mm).	Mec. 2	2,5	5625	\$ 14.063
9.-	Inspeccionar el sistema de alimentación de productor químicos.	Mantenimiento de bombas dosificadores, mangueras, depósitos y conexiones, en caso de riesgo de explosión implementar ducha de emergencia lava ojos	Mec. 2	1	5625	\$ 5.625
10.-	Realizar una prueba hidrostática al 50% a la presión de trabajo durante una hora, debe ser realizador por personal capacitado.	Se realizará cada 5 años por una empresa certificada de mantenimiento industrial	Mec. 1/Contratista	0,5	9710	\$ 4.855
11.-	Realizar el mantenimiento del sistema de ablandamiento de agua, revisión de cabezal automático.	Mantenimiento de válvula de purgas, cambio de componentes internos de ser necesario, limpieza interior y exterior más preparación superficial, cambiar toberas si es necesario.	Contratista	1,75	3460	\$ 6.055
12.-	Limpiar chimenea, y evaluar reparación de tanque de combustión.	Limpieza interior de hollín, reemplazo de partes corroídas o dañadas, mantenimiento de dâmpfer de regulación	Contratista	3	3460	\$ 10.380

		de tiro, pintado exterior, reemplazar termómetro o termostato si es necesario				
13.-	Limpiar el tanque de combustible diario y de almacenamiento de sedimentos o contaminantes.	Limpieza interior, remoción de sólidos, mantenimiento o reemplazo de conectores, tuberías, válvulas, mantenimiento de bomba de combustible y realizar purgas correspondientes.	Mec. 1	3,5	6250	\$ 21.875
15.-	Realizar el mantenimiento de válvulas de salida de vapor.	Evaluar las fugas, inspeccionar componentes de válvulas check y globo, cambio de accesorios internos, y mantención de juntas de dilatación	Mec. 1	3,5	6250	\$ 21.875
16.-	Realizar mantenimiento de la estructura de la caldera, anclaje e infraestructura.	Verificación del anclaje de la caldera, pernos de expansión, cemento químico, mantención y pintado de escalerillas y plataforma de apertura de válvulas, las tuberías de fluidos deben estar en canaletas respectivas, el piso debe tener un acabado pulido industrial a base de polímero o similar, iluminación adecuada, ventilación adecuada y retirar cualquier elemento que no corresponda a la caldera	Mec. 1	4,5	6250	\$ 28.125
17.-	Realizar mantenimiento de manifold o domo de vapor.	Mantenimiento de amortiguadores, verificar o reemplazar el aislamiento con lama mineral, reemplazar o implementar el recubrimiento metálico de acero inoxidable 305, mantener sistema de trampas de vapor	Mec. 1	4,75	6250	\$ 29.688
18.-	Inspeccionar y verificar la seguridad de la sala de caldera.	Elaborar un análisis de criticidad o matriz de riesgo, identificar peligros, evaluación y control de riesgos, instalar extintores adecuados, instalar luminarias de seguridad, ventilar adecuadamente el ambiente con inyectores y extractores de aire, en caso de uso de combustible gaseoso, implementar detectores de seguridad.	Mec. 2	2,5	5625	\$ 14.063
19.-	Verificar y reemplazar elementos desgastados de la bomba de alimentación de agua	Comprobar la presión de descarga de la electrobomba, reemplazo de prensaestopas o sellos mecánicos, rodamientos, y revisión del eje de transmisión, chaveta, acoplamiento.	Mec. 2	2	5625	\$ 11.250
20.-	Arranque de la caldera generadora de vapor.	Verificar una vez concluido el plan de mantenimiento, la caldera se deba poner en operación de acuerdo con el procedimiento establecido.	Mec. 1/Mec. 2	1,15	11875	\$ 13.656
					VALOR TOTAL	\$ 320.271

Tabla 3-9. Plan de mantenimiento preventivo anual.

3.5.4 Protocolo de operación y funcionamiento.

- a) Efectuar revisión general de toda la instalación, para estar al tanto de cualquier anormalidad o condición que no sea la correcta y pueda significar peligro o mal funcionamiento.
- b) Controlar los accesorios de alimentación de agua (tanto los de servicio, como los de reserva).
- c) Revisar el fogón y preparar la iniciación de la combustión en el hogar.
- d) Abrir la válvula de ventilación o atmosférica para permitir la salida de aire acumulada en la caldera y los grifos de los tubos de nivel.
- e) Llenar la caldera con agua hasta un nivel de 2 a 3 (cm) bajo el nivel de trabajo, este espacio se deja para la dilatación del agua al calentarse, luego se ajusta al nivel que corresponde.

- f) Purgar niveles, asegurándose que el agua vuelva rápidamente a su nivel, dejar caldera durante un tiempo prudente, luego verificar si el nivel ha bajado, en caso positivo, revisar la válvula de purga, tapas de registro, juntas de accesorios hasta localizar la pérdida de agua.
- g) Encender el fuego, procurando de no aumentarlo en forma lenta para lograr una óptima combustión y no dañar los tubos, planchas o material refractario debido a la dilatación repentina.
- h) Una vez que se comience a producir vapor, cerrar la válvula atmosférica y los grifos del tubo de nivel.
- i) Verificar el buen estado de los accesorios de seguridad para que en caso de emergencia cumplan con su objetivo.
- j) Purgar la cañería principal de vapor, abrir un poco la válvula principal de vapor para permitir un calentamiento gradual de la cañería, cuando la presión sea aproximadamente de 90% de la presión de trabajo, abrir totalmente la válvula principal de vapor.
- k) Durante el funcionamiento de la caldera debe procurar de alimentar en forma regular con agua y combustible.
- l) No debe permitir que el nivel del agua baje demasiado, ni suba más de lo normal, en el primer caso, exigiría una alimentación muy prolongada, lo que enfriaría la caldera y baja la presión, en el segundo caso, el vapor que se produce es demasiado húmedo.
- m) El exceso de carga o combustible en el hogar se traduce en pérdidas y obstrucción de los conductos de agua, debido al exceso de combustible en el hogar pueden producirse explosiones en las zonas de combustión y conductos de agua o vapor de la caldera.

CONCLUSIONES.

La gestión de un plan de mantenimiento manifiesta la importancia en todos los ámbitos de la materia, es la base para mejorar y dar solución a problemas que pueden llevar a peores consecuencias si no son atendidos.

El mantenimiento de calderas soluciona esos problemas anteriormente mencionados como pérdidas de producción, elevados costos, alta probabilidad de incidentes y accidentes y cumple con el objetivo de prolongar la vida útil del equipo, optimizar costos y consumo de implementos, cumplir requisitos operacionales y aumentar la eficiencia y la confiabilidad del equipo durante su funcionamiento.

En este trabajo de investigación se establecieron puntos para generar un plan de mantenimiento desde el manejo de la información y fundamentos teóricos para conocer y comprender cuales son las bases de la generación de vapor, sus beneficios y componentes, además de estar respaldado por las normas del DS10.

Hasta el momento se sabe de la existencia de problema en los equipos de alta criticidad, estos problemas conllevan a fallas y averías que traen consigo variadas consecuencias, por lo mismo en este proyecto se investigó para aprender y adquirir la capacidad de seleccionar un método de identificación de las fallas presentes en el proceso de generación de vapor que mejor se ajusten a los índices de causa y efecto de la caldera, es por eso que se logró identificar los riesgos más comunes y como afectarían al equipo y su proceso, esto fue indispensable para abrir el camino a la toma de acciones preventivas y correctivas del mantenimiento.

Estas acciones son procedimientos de mantenimiento que permiten ejecutar tareas y actividades para crear soluciones y correcciones, en base al modo adecuado de aplicación y su periodicidad para que de esta forma se actúe bajo la norma, estandarización y calidad para cumplir con los objetivos propuestos de este trabajo sobre una propuesta de un plan de mantenimiento a una caldera acuotubular de media presión.

BIBLIOGRAFÍA.

- ❖ Centrales de vapor. **G.A. GAFFERT.**
- ❖ Fundamentos básicos de la generación de vapor. **ACHS.**
- ❖ Prevención de accidentes en calderas. **ACHS.**
- ❖ Agua de alimentación de calderas. **ACHS.**
- ❖ Apuntes Plantas Térmicas. Prof. **Wilfred Maser L.**
- ❖ Decreto supremo N°10. **Ministerio de salud**
- ❖ Plantillas de trouble shooting y mantenimientos Planta petroquímica
dow SA. **Prof. Marcelo Quiroz Neira**

LINKOGRAFÍA.

<https://jrquezs.webs.ull.es/tecnologia/tema2/caldera2.pdf>

http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/Calderas/clasificacin_por_presin_de_trabajo.html

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/simbolos/simbolos1.htm>

<https://www.riesgolab.com/index.php/institucional/prensa/item/1054-calderas-riesgo-de-exposiciones>

<http://emb.cl/hsec/articulo.mvc?xid=1261&tip=7&xit=medidas-de-seguridad-para-generadores-de-vapor>

<https://rmt-montajes.es/demasiada-presion-caldera/>

<http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

<https://blog.infraspeak.com/es/tipos-de-mantenimiento/>

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2606/T0000882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://www.cursosaula21.com/que-es-la-gestion-del-mantenimiento-industrial/>

TM