



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**REHABILITACIÓN DEL GENERADOR DE VAPOR CLAYTON
DE LA FES ARAGÓN**

TESIS

Que para obtener el título de ingeniero mecánico electricista

Presentan:

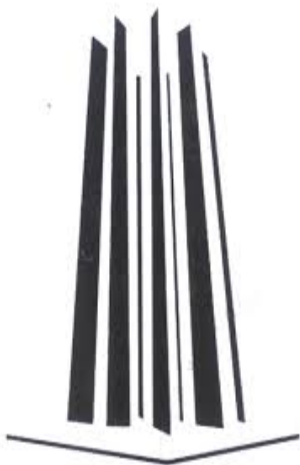
Amador Chávez Isaac

Ordaz Bailón Efraín

Director de tesis:

M. en C. Jorge Vázquez Cervantes

Cd. Nezahualcóyotl, Estado de México 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INDICE

Introducción.....	1
Objetivo.....	2
Capítulo 1. Generalidades de los generadores de vapor.	
1.1 ¿Qué es un generador de vapor?.....	4
1.2 Partes principales que componen una caldera.....	4
1.2.1 Hogar.....	5
1.2.2 Cuerpo.....	5
1.2.3 Conductos caloríficos.....	6
1.2.4 Chimenea.....	6
1.3 La producción de vapor.....	7
1.4 Clasificaciones de las calderas.....	8
1.4.1 Características Físicas.....	9
1.4.2 Materiales empleados.....	10
1.4.3 Comportamiento de las calderas.....	13
Capítulo 2 . Particularidades del generador de vapor CLAYTON de la FES Aragón.	
2.1. Descripción del Generador de vapor Clayton.....	16
2.1.1. Unidad de calentamiento (serpentín).....	17
2.1.1.1 Dispositivo de seguridad por falta de agua.....	19
2.1.1.2 Cinturón termostático de expansión.....	20
2.1.2 Separador de Vapor.....	21
2.1.2.1 Trampa para vapor.....	21
2.1.3 Bomba para agua.....	23
2.1.4 Conjunto de ventilador-quemador.....	23
2.2 Flujo de agua y vapor en el Generador de vapor.....	24
2.2.1 Especificaciones técnicas.....	25
Capítulo 3 . Servicios de mantenimiento correctivo (rehabilitación) metodología.	
3.1 Diagnóstico.....	28
3.2 Desmontaje.....	29
3.2.1 Primera acción. Revisión del Manual.....	29
3.2.2 Segunda acción. Desinstalación de los sistemas de alimentación....	30

INDICE

3.3 Limpieza de la unidad de calentamiento.....	34
3.4 Servicio correctivo al serpentín. Reparación.....	35
3.5 Armado y pruebas.....	38
3.5.1 Prueba hidrostática.....	38
3.5.2. Armado.....	40
3.6. Acabado y servicios.....	40

Capítulo 4. Operación del ciclo Rankine con turbina. Procedimientos y mediciones.

4.1 Arranque del Generador de vapor.....	51
4.2 Arranque de la Turbina de vapor.....	54
4.3 Procedimiento de paro del generador de vapor.....	55
4.4 Datos obtenidos.....	56

Conclusión y recomendaciones.....	60
-----------------------------------	----

Bibliografía.....	61
-------------------	----

Anexos.....	62
-------------	----

Reporte fotográfico.....	67
--------------------------	----

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

La formación como ingeniero mecánico e electricista es un proceso de aprendizaje muy amplio y complejo, lleno de retos y esfuerzos extraordinarios. La Universidad Nacional Autónoma de México nos brindó la oportunidad de ser parte de este trayecto en sus aulas y bajo su exigente modelo académico.

En nuestro paso por la facultad de estudios superiores Aragón como estudiantes obtuvimos los conocimientos necesarios para el pleno ejercicio de ésta carrera, así como el reconocimiento pleno de las virtudes humanas que rigen el lado moral de esta institución que nos conmueve a expresa "por mi raza hablará el espíritu".

Para nosotros el espíritu de agradecimiento de querer dar de vuelta algo de mucho que la UNAM nos otorgó, nos movió a buscar en la jefatura de división de las ingenierías de ésta escuela algún proyecto en el que pudiésemos participar demostrando los conocimientos obtenidos durante la carrera. Pretexto adecuado para buscar un medio de titulación.

El maestro Fernando Macedo Chagolla digno dirigente de ésta división nos propuso con entusiasmo la rehabilitación del generador de vapor CLAYTON del laboratorio de térmica y fluidos, el cual ya llevaba un año fuera de operación.

La rehabilitación del generador de vapor CLAYTON la realizamos bajo la tutela del personal del L1 encargados y técnicos académicos, la buena realización de este trabajo nos absorbió un poco más de un año, quedando concluido no solo la parte del generador de vapor sino también contribuimos a la remozamiento del área circundante y de la turbina coppus, ofreciendo ese "extra" que nos da mucha satisfacción.

Demostrar nuestras capacidades, habilidades y aplicar los conocimientos obtenidos dentro de nuestra formación en ésta ingeniería se convirtió en un reto en el momento en que las condiciones no eran favorables dado a que nuestra experiencia en el área de las calderas es muy limitada, sin embargo al concluir nuestra actividad sentimos que nos quedamos con más de lo que ofrecimos.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Rehabilitar el generador de vapor Clayton en el laboratorio de térmica y fluidos de la FES Aragón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera para aportar una referencia de mantenimiento del generador de vapor.
- Establecer un seguimiento visual de la reparación, mediante un reporte fotográfico de las actividades de mantenimiento correctivo efectuadas.
- Proponer la implementación de una hoja de control (de verificación) para el arranque y paro del generador de vapor

CAPÍTULO 1

Generalidades de los generadores de vapor

En este capítulo se describen los elementos que caracterizan a los generadores de vapor, se explicará la manera en que se puedan diferenciar los principales tipos utilizados en la actualidad para las industrias que cuentan con algún tipo de caldera.

1.1 Qué es un generador de vapor

De acuerdo con SHIELDS (1965, p.23) una caldera es un recipiente metálico en el que se genera vapor mediante la acción del calor, es decir:

Caldera es un recipiente metálico cerrado, en el cual mediante la acción del calor que produce la combustión de un combustible, el agua es transformada en vapor a una temperatura y presión mayor que la atmosférica.

En una definición técnica, una caldera se comprende como un generador de vapor a partir de la adaptación de las paredes enfriadas por agua para el fogón, súper calentadores, calentadores de aire y economizadores, dando origen al término "generador de vapor", para dar al equipo una denominación más apropiada.

Se hablará de manera indistinta de calderas y generadores de vapor a partir de este párrafo. Las calderas tienen un diseño que les permite transmitir el calor procedente de una fuente externa, a un fluido contenido dentro de la misma caldera. En algunos casos el fluido interno no es necesariamente agua o vapor y en estos casos a la caldera se le denomina vaporizador o generador de vapor, técnicamente es un calentador de líquidos térmicos

Los generadores de vapor son dispositivos que cumplen los objetivos de:

- Generar agua caliente para calefacción y uso general.
- Generar vapor para plantas de fuerza, procesos industriales o calefacción.

1.2 Partes principales que componen una caldera

Las unidades generadoras de vapor están diseñadas y construidas de formas y tipos muy variados, sin embargo existen elementos que indistintamente del tipo que se trate, no son exentos de encontrarse en esta diversidad de modelos.

De cualquier carácter que sea, existen medidas de seguridad que se requieren para que el fluido se transporte de manera eficiente y sin riesgos. El vapor o agua caliente deben ser alimentados en las condiciones deseadas, es decir de acuerdo con la presión, temperatura y calidad y en la cantidad que se requiera.

CAPITULO 1

Las partes principales de una caldera son el hogar, el cuerpo conteniendo los conductos caloríficos y la chimenea, los cuales son descritos a continuación.

1.2.1 Hogar

Cualquier tipo de generador de vapor o caldera cuenta con una zona de liberación de calor u hogar, en el que se quemará el combustible, esta zona está en contacto con los tubos caloríficos o el recipiente que contiene el fluido a calentar. El hogar puede ser interior o exterior con respecto al recipiente que los contiene.

La transferencia de calor en esta zona se realiza principalmente por radiación (llama-gas). En la zona de conductos para evaporar el agua la transferencia de calor se realiza por convección.

Los hogares se pueden clasificar de acuerdo a estas clasificaciones:

1. Según su ubicación:

- Hogar exterior, cuando está colocado fuera del recipiente que a su vez contiene el fluido que se calentará o evaporizará.
- Hogar interior. Cuando el hogar (o cámara de fuego) es auto contenido en el recipiente conformando un sistema denominado tipo paquete.

2. De acuerdo al tipo de combustible:

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

3. Según su construcción:

- Hogar liso.
- Hogar corrugado.

Esta última clasificación rige solamente cuando el hogar de la caldera lo compone uno o más tubos a los cuales se les dan el nombre de tubo-hogar.

1.2.2 Cuerpo de la caldera

El cuerpo es el recipiente metálico que contiene los elementos de transferencia de calor, conocidos como conductos caloríficos por algunos

CAPITULO 1

autores, y que sirven para producir el vapor. Se incluyen la cámara de agua y la cámara de vapor en algunos casos de manera conjunta, e en otras situaciones es de manera separada.

Cámara para agua: Es el espacio en una caldera de tubos de humo y que está ocupado por el agua. Tiene señalados su límite superior e inferior del nivel de agua por un tubo de inspección o de nivel. Durante el funcionamiento nunca deben ser sobrepasados por seguridad de la caldera y del personal.

Cámara de vapor: Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera.

Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara. En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión.

Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada "domo" y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

1.2.3 Conductos caloríficos

La zona de tubos, cuyos conductos pueden conducir humo o agua, son los espacios por los cuales circulan los humos y gases calientes de la combustión. En la misma zona se transfiere calor al agua principalmente por convección y de esta forma, se aprovecha el calor entregado para producir vapor. En la mayoría de Generadores de vapor suelen conducir por el interior de los tubos los gases producidos durante la combustión y en menores casos conducen en su interior el agua a calentar.

1.2.4. Chimenea

La chimenea es el conducto dispuesto para la salida de los productos de la combustión hacia la atmósfera. Además tiene como función producir el llamado "tiro" para obtener una adecuada combustión.

Cabe describir los tipos de tiro que se presentan de acuerdo a las necesidades de la combustión.

El tiro natural es la reposición de aire fresco para favorecer la combustión y que se presenta en una chimenea por la salida de los gases calientes

CAPITULO 1

produciéndose un flujo de aire a contracorriente con los gases de combustión.

El tiro forzado es el flujo de aire producido por medio de un ventilador o soplador de aire hacia el hogar. El tiro inducido es el flujo de aire producido por un extractor de aire al final de la chimenea.

Existen accesorios conocidos como reguladores de tiro o templadores: consiste en una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien se encuentra en la chimenea misma; Que tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.

Normalmente se encuentran en chimeneas que precisamente no pertenecen a una caldera.

1.3 La producción de vapor

La cantidad de vapor o agua caliente producida por una caldera en una hora (capacidad de producción de calor), depende de los siguientes factores:

- a) Grado de combustión de combustible en el fogón.
- b) Extensión de la superficie de calefacción.
- c) Proporción en la que se distribuye la superficie, en las áreas de calefacción primarias (calor radiante) y secundarias (calefacción por convección).
- d) La circulación del vapor o del agua y la de los gases de combustión.

Para mantener la combustión es necesario suministrar una cierta cantidad de aire y combustible y remover los productos resultantes de dicha combustión mediante el tiro. Si la acción del tiro natural (efecto de la chimenea) es insuficiente, se utiliza un ventilador para tiro forzado, tiro inducido o la combinación de ambos).

El agua suministrada al interior de la unidad generadora puede transportarse ya sea por efecto de la gravedad o por una bomba de alimentación de manera continua o intermitente para mantener un volumen de agua relativamente constante.

1.4 Clasificaciones de las calderas

Las calderas primitivas consistían en un recipiente de grandes dimensiones, lleno de agua que era calentada por fuego en su parte inferior.

CAPITULO 1

El gran volumen de agua en estado de ebullición generaba fácilmente situaciones de gran riesgo al excederse la presión máxima admisible.

Para aumentar la superficie de contacto gas-metal, y disminuir la cantidad de agua en ebullición y reducir los riesgos se crearon primero las *calderas de tubos de humo*, en las que los gases de combustión circulan por tubos inmersos en el agua.

El próximo paso en el desarrollo fue la creación de las calderas acuatubulares, en las que el agua circula por tubos que forman las paredes del hogar. De este modo se maximiza la transferencia de calor y se minimiza el volumen de agua reduciendo el riesgo de explosión.

La última disposición mencionada que es acuatubulares es la que ocupa a la presente tesis.

Las múltiples aplicaciones que tienen las calderas industriales, las condiciones variadas de trabajo y las innumerables exigencias de orden técnico y práctico que deben cumplir para que no frezcan e l máximo de garantías en cuanto a seguridad y sumo anejo, durabilidad y economía en su funcionamiento, ha obligado a los fabricantes de estos equipos a un perfeccionamiento constante a fin de cumplir con los protocolos que las instituciones reguladoras implementan a fin de garantizar fiabilidad en su operación.

Para mantener un control de seguridad sobre las características de construcción de toda caldera estacionaria susceptible de aseguramiento (por obligación legal), su construcción debe someterse a las normas del "código de calderas y tanques a presión" de la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, conocido como ASME. El código agrupa a las calderas por las siguientes características:

1.- Conforme al código (ASME secc. 8 div 2) las calderas de calefacción de baja presión, que comprenden todas las calderas de vapor que no exceden de 5kg/cm^2 (15lb/in^2) y todas las calderas para agua caliente que no exceden las presiones de 11.25kg/cm^2 (160lb/in^2) y cuyas temperaturas no sobrepasan los 121°C (250°F)

2. Con respecto al volumen de agua que contiene en relación con su superficie de calefacción (sc):

a) De gran volumen de agua (más de 150 lt/m^2 de superficie de calefacción).

CAPITULO 1

b) De mediano volumen de agua (entre 70 – 150 lt/m^2 de sc)

c) De pequeño volumen de agua (menos de 70 lt/m^2 de sc).

3. Según su utilización:

a) Generadoras de vapor.

b) Generadoras de agua caliente.

4. Según la circulación del agua dentro de la caldera.

a) Circulación natural: el agua circula a través del interior de la caldera por efecto térmico., indistintamente del sentido de circulación y disposición de los tubos que conducen el fluido.

b) Circulación forzada: En las calderas se utiliza una bomba colocada en el exterior, para forzar el agua o el vapor en los circuitos internos de la unidad, independientes de las tendencias circulatorias naturales.

Estas calderas se sub clasifican en tres grupos generales:

a) Caldera continúa,

b) Caldera de circulación controlada, en la cual una parte del agua es recirculada,

c) Evaporadores por vapor súper calentado, en los que se utiliza una bomba de vapor.

5. Según el tipo de combustible:

a) de combustible sólido.

b) de combustible líquido.

c) de combustible gaseoso.

1.4.1 Características físicas

La circulación forzada obliga al agua a fluir a través de todos los circuitos generadores de vapor en la dirección deseada, independientemente del grado de calor aplicado.

De todas maneras la aplicación del calor puede ayudar al esfuerzo de la bomba, al dar origen a una altura de circulación que depende de la

CAPITULO 1

disposición de los tubos generadores de vapor, aunque esta altura no es un requisito previo para su funcionamiento efectivo.

La caldera de circulación forzada, difiere de la de circulación natural solamente en la superficie de evaporación.

El sobrecalentador, el economizador, recalentador, calentador de aire y demás equipo correlativo funcionan en la forma acostumbrada, proporcionando los mismos factores de diseño del hogar.

Con el empleo de la circulación forzada, ya no se hacen necesarios los grandes ductos para el paso de agua y del vapor. Ya que una o varias bombas pueden vencer cualquier resistencia al flujo.

La caldera de circulación forzada es invariablemente capaz de proporcionar coeficientes muy altos de evaporación, debido a que está de antemano asegurada la circulación correcta e ideal.

Consecuentemente, puede ser diseñada para grandes cargas de fuego en el hogar y altas velocidades de los gases de combustión.

El diámetro exterior de los tubos, se pueden utilizar de hasta 25 mm (1"), con coeficientes de absorción de calor de $542485 a 1627456 kcal/m^2/h$ (200 a 600 mbh/ft^2).

La reducción de los diámetros de los tubos y la eliminación de los domos, reduce al mínimo la cantidad de agua manejada, permitiendo el uso de bombas relativamente pequeñas.

1.4.2 Materiales Empleados

La selección de los materiales para la construcción de calderas, está controlada por lo dispuesto en la sección II del código de calderas ASME (código 2, 2012) en el apartado de *especificaciones de los materiales*. Las calderas para la generación de fuerza se construyen generalmente de aceros especiales. Las calderas en miniatura se pueden fabricar de otros metales, como el cobre, aceros inoxidable y similares.

Las calderas de calefacción de presión baja se fabrican en lo general de hierro colado o de acero, aunque algunas calderas para servicio doméstico, operadas por medio de gas se manufacturan de tubos de cobre.

CAPITULO 1

Las calderas de hierro colado, producidas por las fundiciones de hierro gris, se componen de cierto número de secciones, interconectadas por niples de presión o individualmente por cabezales exteriores.

Las calderas de acero son fabricadas con láminas de acero procedentes de los trenes de laminación y con fluses de acero. Las planchas de acero son unidas por medio de costuras de remaches o por costuras de soldadura.

Estas son calderas dotadas de tubos rectos rodeados de agua ya a través de cuyo interior pasan los gases de la combustión.

Estos tubos se instalan normalmente en la parte inferior de un tambor sencillo o de un casco bajo del nivel de agua.

Se consideran calderas en miniatura a todos aquellos tanques a presión sometidos a fuego que no exceden los siguientes límites:

- a) diámetro interior del casco 406 mm (16")
- b) volumen máximo de 411mm (5ft³) excluyendo la cubierta y el aislamiento
- c) superficie de calefacción de 1.86 m² (20ft²)
- d) 7kg/cm² (100lb/in²) de presión máxima de trabajo esto según ASME (secc. 8 div.9)

Además existen calderas que obtienen el calor necesario de otras fuentes de calor, tales como gases calientes de desperdicios de otras reacciones químicas, de la aplicación de la energía eléctrica o del empleo de la energía nuclear.

Una vez descritas las formas de clasificar las calderas por sus variadas características físicas y los materiales empleados en cuanto a su disposición, se llegó a establecer su clasificación más aceptada la cual está normalizada por la ASME, identificándose como :

1.-Piro-tubulares o de tubos de humo: En estas calderas, los humos pasan dentro de los tubos cediendo su calor al agua que los rodea. Estas calderas son denominadas también igneotubulares y pueden ser verticales u horizontales.

Entre las calderas verticales pueden encontrarse dos tipos con respecto a los tubos:

CAPITULO 1

a) Tubos parcialmente sumergidos.

b) Tubos totalmente sumergidos.

En el primer caso, el agua no cubre totalmente a los tubos; en el segundo estos están totalmente cubiertos.

Las calderas horizontales con tubos múltiples de humo, hogar interior y retorno simple o doble retorno son las llamadas calderas escocesas, de aplicación más frecuente en nuestro país. Estas calderas, como cualquier otro tipo, pueden ser utilizadas con hogar para quemar carbón, leña o bien con quemadores de petróleo.

Se encuentran en este grupo de calderas locomóviles y las locomotoras que se caracterizan principalmente por ser de mediano volumen de agua, acorazado forzado.

2.- Acuotubulares o de tubos de agua: El agua circula por dentro de los tubos, captando calor de los gases calientes que pasan por el exterior.

Comúnmente diseñadas de dos tipos, de tubos rectos y de tubos en espiral o también llamadas helicoidales.

Comercialmente las calderas de tubos rectos suele tener un cabezal de tipo caja hecho de placas de acero o un cabezal en secciones, sobre la cual en cada sección conecta los tubos de una hilera vertical sencilla.

La caldera de tubos curvados está dotada de uno a cuatro domos, si el domo se dispone paralelo a los tubos, la caldera es de tipo longitudinal; si está dispuesto en forma transversal o cruzado. Si el fogón está encerrado entre superficies enfriadas por agua, se le llama fogón de paredes de agua o (enfriada por agua)

Las calderas acuotubulares son empleadas regularmente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

Su peso en relación a la capacidad es reducido, requieren poco tiempo de puesta en marcha y son más eficientes.

En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos.

CAPITULO 1

Son de pequeño volumen de agua.

No se construyen para bajas capacidades debido a que su construcción más compleja las hace más caras que las calderas piro-tubulares.

VENTAJAS

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.
- Mayor seguridad para altas presiones.
- Mayor eficiencia.
- Son menos propensas a explosiones por alta presión.

DESVENTAJAS

- Su costo es mayor.
- Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de sus tubos son, a veces, innecesarias y pueden provocar roturas de los mismos.
- Debido al pequeño volumen de agua, les es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario trabajarlas a mayor presión que la necesaria en las industrias.

1.4.3 Comportamiento de las calderas.

El comportamiento de una caldera puede expresarse en función de los kilogramos de vapor por metro cuadrado de superficie de calefacción y por hora (coeficiente de evaporación). En relación con lo anterior se tiene que la intensificación de la producción de vapor se basa principalmente en la circulación de agua en el interior de los tubos, con una velocidad tal, que el vapor que se va formando por el calentamiento de los mismos, va saliendo con la misma corriente del agua que se evapora, porque de no ser así, las burbujas de vapor formadas crearían espacios huecos en el líquido que no podrían absorber el calor transmitido, quemándose el material de los tubos.

CAPÍTULO 2

Particularidades del Generador de vapor en la FES Aragón

Se describen durante el presente capítulo, las características particulares del Generador de vapor Clayton del Laboratorio de Térmica y Fluidos de la FES Aragón sobre el cual se hizo el trabajo de re manufactura.

CAPÍTULO 2

Para cumplir con el objetivo de tener información detallada que permita conocer el funcionamiento del generador de vapor Clayton, y se pueda localizar rápidamente fallas en el Generador de vapor, se proporciona la siguiente información con el fin de poderlas prevenir y realizar en todo caso un diagnóstico y su correspondiente acción de corrección.

2.1 Descripción del Generador de vapor Clayton.

El laboratorio de Térmica y Fluidos de la FES Aragón cuenta con un generador de vapor marca CLAYTON modelo EO60 similar al que se muestra en la figura 1, del tipo acuotubular de combustión a diesel.

De acuerdo con la descripción de Carl .D Shields, (pp 102) es un generador de vapor tipo Lamont.

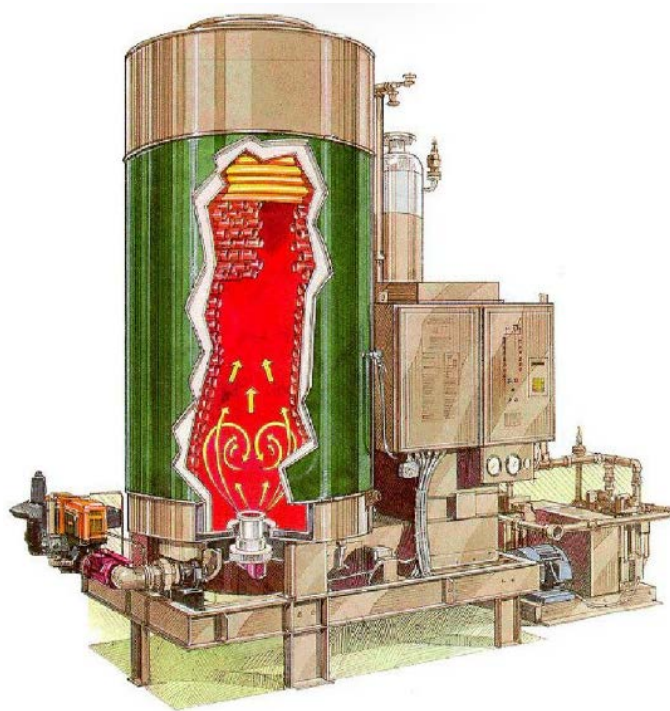


Figura 1. Esquema general de un generador de vapor marca Clayton.

La nomenclatura que determina el diseño del modelo cuenta con tres especificaciones:

Para el caso de estudio el generador es modelo EO-60

E.- Define que es una máquina de encendido por arco eléctrico,

O.- Utiliza combustible diesel,

60.- capacidad de 60 caballos caldera. 939.0 kg/cm^2

CAPÍTULO 2

Este modelo en concreto tiene la opción de modular la capacidad de descarga de vapor para los procesos desde su arranque. Esto se logra variando los porcentajes de suministro de agua, aire y combustible, alcanzando entregar un 50% de capacidad o bien 100% de capacidad.

Por lo anterior el fabricante adoptó el nombre de operación a fuego bajo cuando el generador trabaja a 50% de su capacidad, y cuando trabaja al 100% de su capacidad se le llama operación a fuego alto.

Esta cualidad de modulación de operación es controlado por un interruptor automático, la forma de operación se describirá más adelante.

El generador de vapor cuenta con elementos que le diferencian de otros modelos que la misma marca fabrica, se procurará describir todos y cada uno de ellos con el objetivo de diferenciarlos para su posterior identificación.

2.1.1. Unidad de calentamiento (serpentín).

Su función principal es la de permitir que circule un flujo de agua de manera controlada en su interior, misma que se transformará en vapor. Además de ser la superficie de calefacción para este propósito.

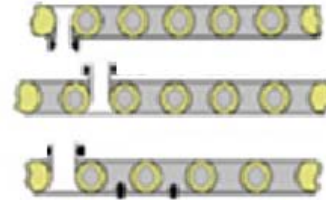
Siendo la parte medular del generador le prestaremos particular atención a este elemento. De acuerdo con la figura 2 se constituye de un tubo continuo (principio mono tubular) de acero al carbón sin costura cedula 40, rolado en forma de espiral. Se ensambla en dos secciones fundamentales, cada una de ellas con diámetros calibrados de menor a mayor incrementando así su diámetro interior, a fin de permitir la expansión del agua conforme se convierte en vapor.

CAPÍTULO 2

sección superior rolada de la unidad de calentamiento



los espacios entre los tubos permiten una distribución uniforme de los gases de combustión



la separación de los espacios entre cada espiral permite controlar las velocidades de los gases de combustión.

Figura 2 Rolado del tubo de acero y disposición del serpentín.

La sección superior se construye con tubos rolados en frío y con una separación específica. Esta separación dependerá del número de paquetes de tubos o "panqueques" que se estén enrollando en ese momento, y a que puede variar de acuerdo a la posición del mismo dentro de la unidad de calentamiento.

El ensamble de las espirales que conforman la sección generadora, se dispone de forma tal, que la separación entre cada vuelta del tubo quedan alternadas con respecto de la siguiente (traslapadas). Esta disposición cambiará y dirigirá la trayectoria de los gases de combustión, provocando que estos asciendan serpenteando a lo largo y ancho de la unidad, con el fin de incrementar considerablemente su capacidad de transferencia de calor.

En el centro y entre cada par de espirales, se coloca una placa circular pequeña (baffle), para obligar a que los gases se dirijan por la mayor parte de superficie del tubo en cada espiral.

La sección inferior de la unidad, consiste en un tubo rolado en forma helicoidal, sin separaciones entre cada vuelta de tubo. Esta sección también llamada pared de agua formará el espacio necesario que constituye la cámara de combustión, que es el sitio en donde se alojará la flama del

CAPÍTULO 2

quemador, como lo muestra la figura número 3. Alrededor de ésta pared de tubos se monta una cubierta metálica de acero (banda térmica) que disminuye la pérdida de calor.

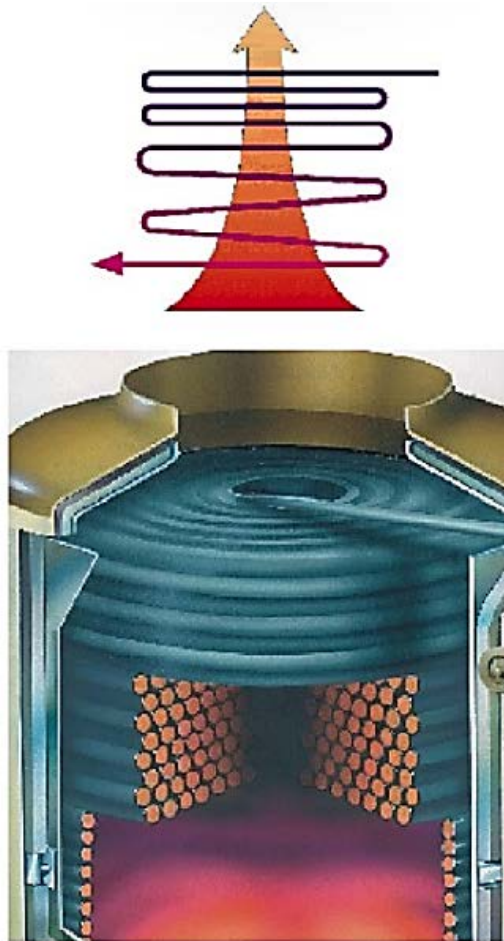
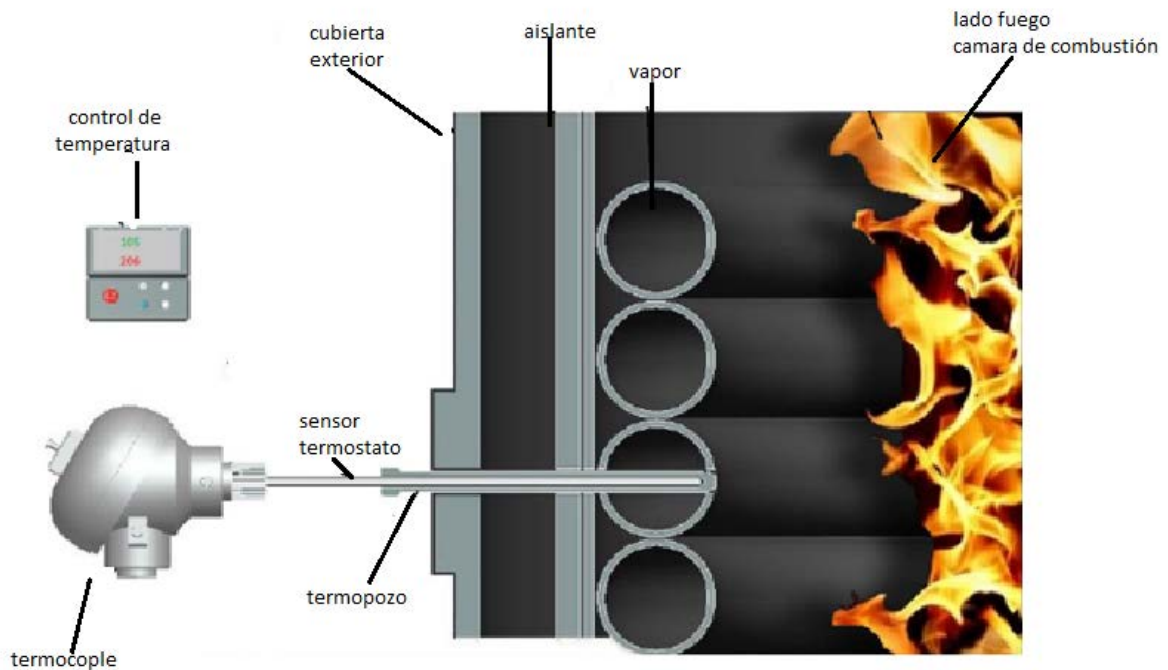


Figura3. Circulaciones del fluido y disposición de los panqueques.

2.1.1.1. Dispositivo de seguridad por falta de agua

Para evitar un exceso de calentamiento ocasionado por la falta de agua en la unidad, se cuenta con un dispositivo de seguridad electrónico que al momento de sentir un incremento excesivo de temperatura en la unidad de calentamiento por medio de un termopar tipo J, como lo indica la figura 4 desconecta eléctricamente el control de flama apagando el quemador.



Figuran 4. Conexiones del termopar.

2.1.1.2. Cinturón termostático.

Existe otro método de tipo mecánico conocido como cinturón termostático, que cumple la misma función de mantener segura la unidad de calentamiento. Utiliza como principio la dilatación de los metales al ser expuestos a una fuente de calor.

Ante la falta de agua la dilatación se presentará, activando con ello un micro interruptor que abre su contacto normalmente cerrado y se desactiva eléctricamente el control de flama, apagando el quemador. La figura 5 muestra la parte exterior de dicho elemento.



Figura 5 Interruptor del cinturón termostático.

2.1.2 Separador de vapor.

Es un depósito cilíndrico cuya función principal es la de apartar el agua de sobre flujo (20%) de forma mecánica mediante una boquilla separadora, que consiste en una hélice fija que al chocar la mezcla de agua-vapor contra la hélice, origina un movimiento centrífugo (giro) mediante el cual, las partículas de sobre flujo, al ser más pesadas que el vapor se separan y chocan contra la pared interna del mismo separador, precipitándose por gravedad al fondo del mismo. El agua separada se desaloja mediante una trampa de vapor de cubeta invertida y se regresa al tanque de condensados para su recuperación como agua de alimentación.

La temperatura del vapor producida se monitorea por medio de un termómetro colocado en el separador de vapor, y bajo condiciones normales de operación la temperatura indicada deberá estar aproximadamente de la temperatura de saturación de vapor ($170^{\circ}C$)

2.1.2.1. Trampa de vapor

La trampa de vapor, figura 6, retorna el agua de sobre flujo (condensado) del separador hacia el tanque de condensados. Los ciclos de trampeo son los movimientos repetidos de apertura y cierre automáticos proporcionales en tiempo y son necesarios para asegurar que el volumen suficiente de agua de alimentación (sobre flujo) esté circulando por la unidad de calentamiento. Lo anterior tiene el fin de generar un arrastre y poder controlar los sólidos

CAPÍTULO 2

disueltos mediante una válvula de purga automática o TDS (Control De Sólidos Disueltos Totales) y mantener una concentración de entre 2500 y 3500 ppm. En el tanque de condensados aun y cuando este parámetro nos permite un máximo de 6000 ppm.

Los ciclos de trampeo dependen de las condiciones de operación: la presión del vapor, la temperatura del agua de alimentación, las condiciones de la bomba para agua y el porcentaje de generación al que se esté operando el equipo en ese momento que como se mencionó anteriormente suele llamársele fuego alto o fuego bajo.

La trampa de vapor está equipada con un manómetro que de acuerdo a lo que nos indique reflejará el comportamiento del dispositivo, por ejemplo si la presión aumenta es que la trampa de vapor está abriendo, por lo contrario si la lectura disminuye nos indica que se está cerrando la trampa de vapor.

Si la trampa de vapor no está abriendo en lapsos de tiempo proporcionales, esto podría ser indicio de que han cambiado algunas de las variables mencionadas.

El fabricante recomienda el monitoreo constante de este sistema de trampeo desde su arranque para poder determinar su correcto funcionamiento. Estos datos servirán de referencia y deberán revisarse para asegurar condiciones de operación normal en el equipo.

El generador cuenta con un sistema abierto a la atmósfera (tanque de condensados) en donde la temperatura del agua de alimentación es de 85°C a 92°C, la trampa de vapor deberá permanecer abierta aproximadamente de treinta a cuarenta segundos acumulados (acumulados) de cada minuto en operación a fuego alto (100% de capacidad), operando a fuego bajo (50% de capacidad), la trampa de vapor deberá permanecer abierta de seis a ocho segundos.

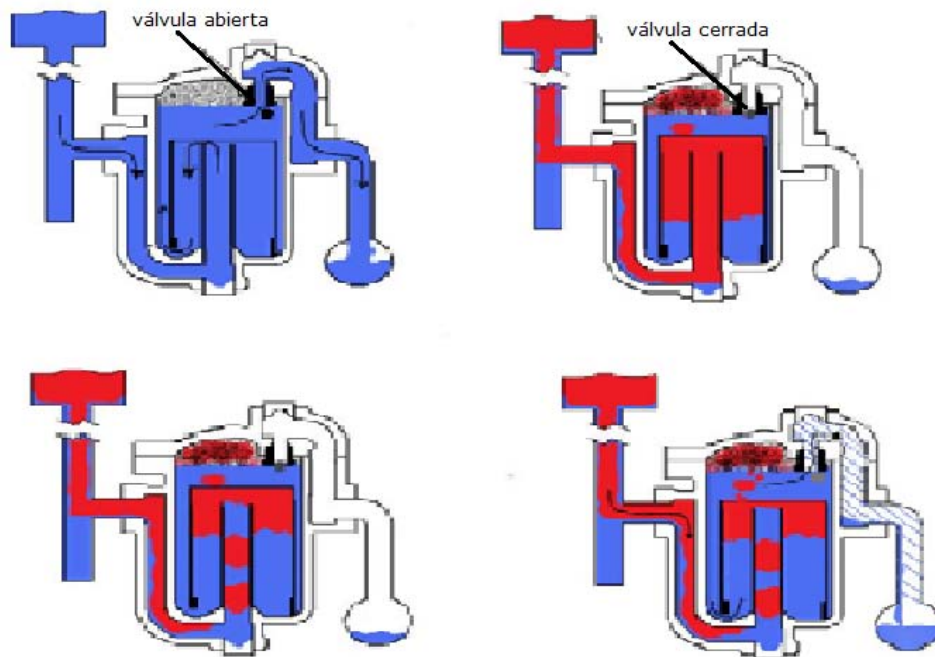


Figura 6. Trampa de vapor de cubeta invertida.

2.1.3. Bomba para agua

La bomba para agua está especialmente desarrollada para proveer un volumen fijo a la unidad de calentamiento, de manera controlada y garantizar que la unidad de calentamiento tenga un gasto adecuado, bajo las condiciones de carga y presión requeridas en todo momento.

La bomba es de pistones y diafragmas dividida en dos secciones que alimentarán la unidad de calentamiento debido al gasto que maneja.

Este elemento opera mediante un motor eléctrico acoplado por una flecha o eje.

2.1.4. Conjunto de ventilador- quemador

El quemador de tiro forzado recibe la cantidad adecuada de aire proveniente del ventilador, (figura 7), para lograr una combustión eficiente

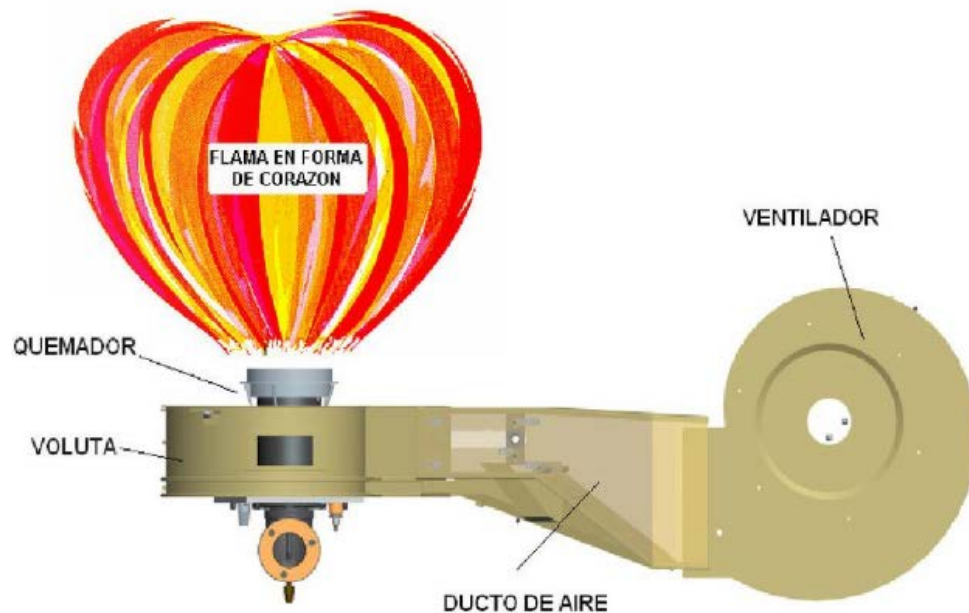


Figura7.conjunto de quemador y ventilador.

El aire entra a la cámara de combustión con un movimiento en espiral, originando por la disposición del conducto y voluta, que conducen este flujo al interior de la cámara. Al mezclarse con la atomización del combustible inyectado por las boquillas del quemador y encontrarse con el arco eléctrico, se genera una flama de alta velocidad en forma de corazón, provocando que abarque todo el espacio disponible en la hogar, transfiriendo a los tubos de la unidad la mayor parte de calor. Obteniendo con este efecto una eficiente combustión.

2.2 Flujo de agua y vapor en el generador de vapor

Por recomendación del fabricante, el tanque de condensados (tanque de almacenamiento de agua) está instalado a dos metros por encima del nivel de la bomba para agua del generador ya que ésta deberá proveer un flujo de agua, a una tasa oscilante de 15.65 lt/hr por caballo caldera más un 20% de sobre flujo. Una bomba auxiliar ubicada en la línea de alimentación de la bomba principal del equipo, ayuda a mantener un llenado previo a $1\text{kg}/\text{cm}^2$ antes de encender el generador de vapor.

CAPÍTULO 2

Esta presión es importante mantenerla para evitar el efecto de cavitación en la bomba para agua Clayton y evitar daños prematuros en algunos de los componentes por ese efecto.

La bomba envía agua a presión hacia la unidad de calentamiento en donde circula en sentido contrario a los gases de combustión, de tal manera que a medida que el agua avanza en su recorrido en sentido descendente, encuentra temperaturas cada vez más altas ya que los gases de combustión que se encuentran en la parte inferior de la unidad de calentamiento son ascendentes, por lo que se incrementa su temperatura para cambiar la fase del agua.

Finalmente el vapor saturado se acumula en el cabezal separador (domo) y se le da salida por la válvula del separador hacia las líneas de transporte de vapor para ser utilizado, mientras que el sobreflujo (condensado en el domo), es desalojado por la trampa de vapor que la envía hacia el tanque de condensados, para repetir nuevamente el ciclo.

2.2.1. Especificaciones Técnicas

En la Tabla 1 se dan las especificaciones técnicas que determinan la construcción y funcionamiento del generador de vapor.

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Generador de vapor Clayton EO-60*

Especificaciones técnicas	Unidades inglesas	Unidad Métrica
Caballos caldera. Suministrados a $7 \frac{kg}{cm^2}$ manométricos. (100 psi) con agua de alimentación @ 100°C (212°F)	70.7 bhp	693.5 KW
Suministro neto de calor	2008500 Btu/hr	506.142 Kg cal/hr
Evaporación equivalente Con agua de alimentación a 100°C (212°F)	2070 Lb/hr	939 kg/hr
Presión de diseño	160-300 Psi	11.2-21.0 Kg/cm ²
Presión máxima de operación del vapor	150-275 Psi	10.5-19.3 Kg/cm ²
Consumo de aceite combustible Con suministro de vapor. Basado en aceite combustible no. 2 de 30 a 40 api de gravedad.	179 Gph	68 litros /hr
Contenido de agua en operación normal	6.5 galones	24.6 Litros
Motor eléctrico	5 hp	3.7 kW
Volumen del horno (cámara de combustión)	405 sq. Ft	.127 m ³
Superficie de calentamiento	116 pie ²	10.77 m ²
Dimensiones aproximadas Largo Ancho—sólo el generador	622 inches 40 inches	1.57 m 1.02 m

CAPÍTULO 2

Ancho—generador y tanque de condensados	70 inches	14.78 m
Altura	76 inches	1.93 m
Peso de embarque		
Sólo el generador	2600 lb	11.79 kg
Tanque receptor de condensados	37 lb	170 kg

* Datos obtenidos del Manual de Clayton

De acuerdo con la información anterior y conocidas las partes del G.V. se describirá la metodología a seguir para el servicio de mantenimiento.

Capítulo 3

SERVICIOS DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO (REHABILITACIÓN) METODOLOGÍA

El objetivo de este capítulo es describir la metodología utilizada para la rehabilitación del generador de vapor del laboratorio de Térmica y Fluidos de la FES Aragón.

CAPÍTULO 3

La metodología empleada incluye procedimientos y áreas establecidos para diagnosticar equipos y que se tienen descritos en acervos bibliográficos de mantenimiento tal como lo indica Dounce V (1990 pp.143).

La primera actividad fue diagnosticar las condiciones del equipo mediante los antecedentes registrados, para obtener claramente los alcances que esta rehabilitación pudiera tener y si ésta se podía ejecutar sin contratiempos.

3.1 Diagnóstico

Al inicio del trabajo se realizó una revisión de la bitácora del Generador de vapor Clayton con ayuda del personal a cargo. Se tuvo como primer antecedente que el generador de vapor tenía complicaciones severas durante el periodo de arranque, mismas complicaciones que en un corto periodo dieron paso a la fuga de agua bastante considerable. Las complicaciones mencionadas ocasionaban que el quemador nunca encendiera adecuadamente. Lo anterior interrumpía el proceso de arranque y la pérdida de líquido en el serpentín del generador de vapor.

Al analizar las características del fallo manifestadas, se consideró establecer contacto visual con las fisuras para poder localizarlas de manera precisa y que ayudara a establecer los procedimientos de reparación.

Para conseguirlo se procedió a desmontar el Generador de vapor. Inicialmente se detectaron grietas en la salida del serpentín, es decir, en su parte inferior situado justo a un costado del quemador y separado solo por la pared de los ladrillos refractarios con el depósito del material polimérico sellador de calor.

Posteriormente durante una prueba hidrostática se detectó una fisura en un panqueque de alimentación de agua, dispuesto en una de las paredes superiores de la unidad de calentamiento sobre el quemador, por ésta razón se apagaba la flama del quemador al ser rociada por el agua impidiendo su correcto funcionamiento.

En conjunto de la descripción anterior, se establece que fueron detectados dos agrietamientos en el serpentín, uno en la tercera e spiral o tercer panqueque y el otro a l final de l serpentín donde sale vapor al cab ezal separador, figura 8.



Figura 8. Salida de vapor corroída.

3.2. DESMONTAJE

El desmontaje se realizó después de revisar el manual de operación, arranque e instalación del generador. Se discutieron las decisiones de cuales elementos son los más viables para el desarmado ordenado y sin complicaciones.

3.2.1 Primera acción. Revisión del manual

De acuerdo al manual de mantenimiento de desmontar la chimenea de extracción de gases productos de la combustión es un procedimiento rutinario y sin mayor complicación así que como lo muestra la figura 9 retirarla no causó mayor labor.



Figura 9. Desmontaje de la chimenea.

CAPÍTULO 3

Para su desmontaje es necesario retirar una abrazadera de dos piezas con tornillo, que conecta la carcasa del generador con la base de la chimenea, y se quitan seis tornillos que conectan al tubo más largo que conduce directo al exterior, con la campana de colector de gases y hollín.

Durante dicha operación se encontró la presencia de algunas aves que utilizaron la chimenea como refugio y quedaban atoradas, esto provocó que se quemaran dichos animales y su grasa cayó por el serpentín. La consecuencia fue de quedar retenido el hollín que se generaba y se fue tapando la salida de gases hasta producir una leve explosión interna por acumulación de gases.

De lo anterior se propusieron algunas recomendaciones para evitar la reincidencia de estos casos.

3.2.2. Segunda Acción. Desinstalación de los sistemas de alimentación.

La segunda actividad consistió en retirar la carcasa del generador de vapor, esta carcasa está dividida en 2 piezas de lámina dispuestas en forma de media luna atornilladas con pijas y sujetos a la base del horno con una abrazadera circular, según se puede apreciar en la figura 10.



Figura 10. Generador de vapor sin carcasa.

CAPÍTULO 3

La carcasa cuenta con una serie de orificios por los cuales atraviesan los tubos de salida y entrada de agua y vapor, también cuenta con un acceso para el controlador del cinturón termostático, elemento que está fijado en la lámina frontal, que también es necesario retirar para poder quitar completamente las láminas de protección, figura 11. Cabe mencionar que estas láminas están aisladas con material refractario que aísla del calor totalmente el exterior del generador de vapor, por lo cual se puede tocar sin riesgo alguno.



Figura 11. Soporte del sensor de expansión termostática y varilla del sensor.

Una vez desmontadas las láminas y los accesorios de la unidad de calentamiento, se tiene expuesto el sistema de fijación principal, que es el que nos permite mantener el serpentín fijo, junto al baffle contenedor del conjunto de quemador y ventilador.

La unidad de calentamiento está fijada con 3 tornillos pasados sujetos al horno de ladrillo refractario, estos tornillos se encuentran en una cavidad especial contenedora de un material llamado cemento refractario que es una mezcla de minerales y algunos polímeros que se encuentran húmedos para activar su efectividad y dispuestos para cumplir con el objetivo de evitar las fugas de calor. Puesto que están dentro de un ambiente sujeto a humedad por la fuga de agua, el material de los tornillos se encontró en un estado avanzado de corrosión, cuestión que provoca dificultades para retirar los tornillos de su posición original. Para quitar dicha tornillería se realizó calentamiento y lubricación de cada tornillo de esa sección.

CAPÍTULO 3

Una vez desmontados los tornillos de sujeción se procedió a desconectar los tubos de alimentación de agua y de salida de vapor. El tubo de alimentación de agua está situado en la parte superior de la unidad de calentamiento, es decir, al inicio del serpentín; el tubo está acoplado con una conexión de 3/4 tipo cople.

En la salida de vapor en la unidad de calentamiento, la corrosión dañó la tubería de modo que fue más rápido cortar el tubo que desenroscarlo Figura No. 12

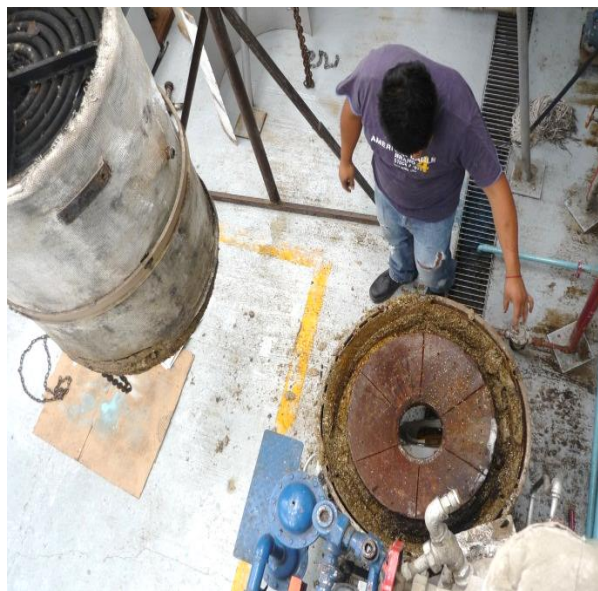


Figura 12. Serpentín separado del bafle.

Otra conexión que atraviesa la carcasa es una salida de vapor para servicios de deshollinado del serpentín, la cual también es necesario su desmontaje para poder remover el serpentín.

Terminado el proceso de desconexión de los sistemas de alimentación de agua, combustible y conexión eléctrica, así como las fijaciones por tornillería, se procede a llevar la unidad de calentamiento para su separación del resto del generador de vapor, mediante un polipasto en conjunto con una base fija acoplada a la parte baja, para sostener el serpentín y poder maniobrar.

CAPÍTULO 3

Retirado el serpentín se procedió a desenvolverlo de su protección térmica que consta de 2 mantas, una malla de retención y una cubierta de fibras de vidrio, todo este conjunto recubierto por un cemento refractario, y retenido alrededor de la unidad de calentamiento por un par de flejes, que aprietan las mantas, las mantienen fijas y libres de vibraciones.

Todo este sistema evita la permeabilidad térmica hacia el exterior de la unidad, la figura 13 muestra este punto referido



Figura 13. Mantas deflectoras de calor.

El serpentín de la unidad generadora de vapor está contenido en un depósito cerrado metálico, formado por 3 partes (la figura 14 muestra todo el conjunto y a separado) fijado por tornillos que a la vez sirven para retener este contenedor en una posición determinada que le permita mantenerse fijo y sin vibraciones que le provoquen daños por fricción.

Desmontar las fijaciones de este contenedor, por su peso implicó utilizar el aparejo de elevación para que una vez desmontado poderlo retirar sin mayor complicación y así poder descubrir el serpentín para continuar con el proceso de reparación.



Figura 14. Unidad generadora desarmada en su totalidad.

3.3 Limpieza de la unidad de calentamiento.

Descubierto el serpentín en su totalidad, y antes de rastrear las fugas en el sistema se propuso por nosotros dar una limpieza para retirar el hollín acumulado y de este modo poder detectar con mayor facilidad los problemas que se pudiesen ocultar por la suciedad en las paredes exteriores de los tubos.

El hollín, resultado de la combustión del diesel en los quemadores asciende hasta la chimenea de escape de gases, por la configuración traslapada de los tubos del serpentín, la acumulación de suciedad es mayor en la parte superior.

La limpieza de la unidad de calentamiento y de sus protecciones se realizó sin utilizar maquinaria especial, el detergente que utilizamos se consiguió en una proveedora de químicos a granel para el hogar. Esta proveedora nos recomendó un ácido desincrustante de suciedad que remueve los residuos provocados por la quema de cualquier tipo de combustible, adherido en cualquier superficie metálica.

El método que se utilizó para limpiar el serpentín fue el de disolver en agua una porción del ácido y en uso conjunto con detergente común utilizando una fibra se tallaron los tubos metálicos hasta desprenderlos totalmente de

CAPÍTULO 3

la suciedad que los recubría figura 15. El mismo procedimiento se realizó para con todos los demás elementos que están en contacto con la cámara de combustión y la chimenea de gases.



Figura 15 serpentín aseado.

3.4. Servicio correctivo al serpentín. Reparación.

Como se explicó en el apartado dedicado al diagnóstico la principal y más visible avería del serpentín estaba en la salida de vapor que estaba demasiado corroída, y que en un principio se asumió sería la única fisura que se tenía en la unidad de calefacción.

Conociendo el tipo de tubo con el que el serpentín, nos dimos a la tarea de buscar las piezas de reemplazo para la reparación del generador de vapor, para esto se recurrió al fabricante para que nos surtiera el codo de salida de gases que también tiene rosca de tipo NPT para colocarle la tubería adecuada para su instalación.

Los tramos de tubo a reemplazar para las conexiones y el tubo que hacía falta reemplazar por la corrosión en él se compraron en una proveedora de tubería, figura 16.

Los tubos se procuraron comprar de tipo sin costura pero no se halló un proveedor que los surtiera; dado esta situación se consultó con el fabricante

CAPÍTULO 3

acerca de qué tipo de material se podría emplear para una reparación eficiente. En respuesta el fabricante sugirió utilizar tubería negra de cédula 40.



Figura 16. Codo y tubo para la salida de vapor.

En cuanto la fábrica surtió la pieza que se requería se preparó el serpentín para que se soldaran los elementos, y un tramo de tubo para complementar la sección del serpentín que estaba dañada.

Se midió la sección a cambiar que era de 7 cm así que se cortó de 8 cm y se colocó en el torno para hacerle un maquinado de tipo chaflán para que el aporte de material ejecutado por la soldadura fuese efectivo y de este modo evitar fisuras.

La sección del tubo que se soldaría se sometió a una limpieza exterior de todas las incrustaciones que tenía con una piedra de desbaste como lo muestra la figura 17



Figura 17. Preparación de la superficie a soldar.

CAPÍTULO 3

Ya limpia la superficie del tubo se soldaron el tubo nuevo con el codo nuevo, como se observa en la figura 18, para soldar se utilizó soldadura de tipo TIG (Tungsten Inert Gas por sus siglas en ingles) y posteriormente se soldó al extremo del serpentín con el mismo método.

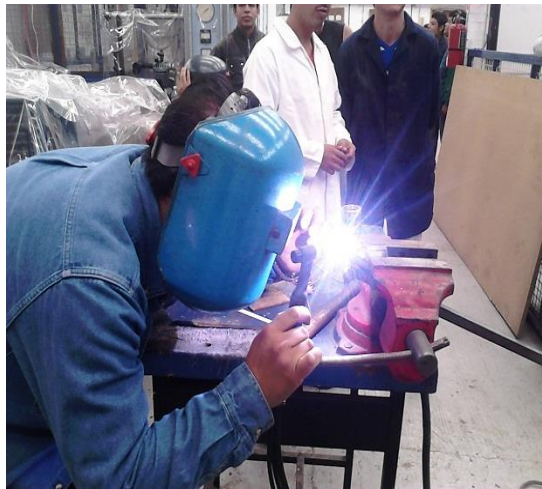


Figura 18. roceso de soldadura del codo y cople nuevo.

En la figura número 19 y 20 se muestra el resultado del proceso de soldadura, no solo de la parte final del serpentín sino también de una fisura que se encontró en la parte interna del hogar. Figura 16.



Figura 19. Reparación de la parte interna del hogar.



Figura 20. Extremo del serpentín ya reparado.

3.5 Armado y pruebas.

El proceso de armado del generador de vapor no fue estrictamente en orden inverso al de desmontaje.

Puesto que se requirió adquirir material que se tenía que reemplazar y del mismo modo hacer servicios de mantenimiento a las partes periféricas de la misma unidad.

3.5.1 Prueba Hidrostática

Por recomendación del fabricante después de la reparación y previo al montaje, es necesario hacer una prueba hidrostática, que nos ayudará a garantizar que las secciones reparadas no tienen fisuras., y el proceso de prueba fue el siguiente:

a) Llenado del serpentín: una condición para ejecutar la prueba era que la unidad generadora tenía que estar llena de agua, para esto se dispuso de un tapón para bloquear la salida del serpentín y a continuación rellenar la unidad hasta el tope, con ayuda de una manguera conectada en un extremo del serpentín, como lo muestra la figura 21

CAPÍTULO 3



Figura 21. Llenado del serpentín previo a la prueba hidrostática.

b) Presurización del serpentín: una vez llena la unidad se colocó una bomba de pistón la misma que se muestra en la figura 17, que genera una presión constante de $600\text{lb}/\text{in}^2$. Este libraje es suficiente para mantener una presión superior a la que está sometida la unidad generadora durante su operación normal y requerida para detectar que el material del serpentín está en perfecto estado.



Figura 22. Pistón para presurizar el sistema.

c) Resultado: durante la prueba se detectó una fisura en el lugar en el que se había soldado el nuevo tubo de salida de vapor, y el serpentín en una de sus secciones superiores del paso de agua también se detectó una grieta, una fuga considerable de agua en el área del quemador.

CAPÍTULO 3

3.5.2 Armado

Posterior a la reparación se recurrió al fabricante para suministrar el cemento refractario que se ocupa en el baffle contenedor del horno, que se aplica rellenando en su totalidad el espacio en el que descansa la unidad de calefacción, evitando las fugas de calor en la parte final del serpentín que es la salida del vapor, así como lo muestra la figura 23.



Figura 23. Aplicaciones del cemento refractario.

Su aplicación es recomendada mezclando el cemento en una proporción 2 a 1 de agua, es decir 1 litro de agua por cada dos kilos de cemento refractario y aplicarlo antes de que fragüe, y evitar obstruir la salida de la pared de aire que refrigera las superficies circundantes de la unidad generadora y que mantiene la carcasa exterior fría.

3.6 Servicios

Otra parte importante de este mantenimiento integral fue dar servicio a las válvulas de control de agua y vapor.

Este servicio consistió en cambiar los sellos de fibra grafitada y en las de tamaño mayor los sellos de polímero, esto con la finalidad de evitar fugas de fluido o gas debido a su rigidez por inactividad. Figura 24 y 25

CAPÍTULO 3



Figura 24. Servicio a las válvulas.

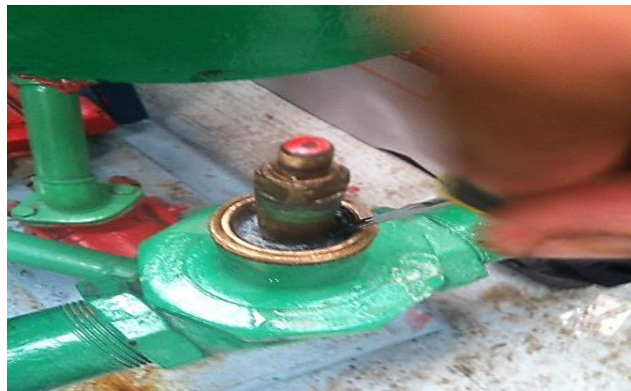


Figura 25. Instalación del nuevo material.

Entretanto el fabricante se encargaba de la reparación del serpentín, nos dimos a la tarea de reacondicionar la parte estética del generador de vapor y la turbina de vapor COPPUS.

Puesto que la carcasa de la unidad generadora estaba desmontada y por sugerencia de la jefatura del laboratorio se presentó la oportunidad de reacondicionar la pintura de toda la tubería, el motor de la bomba para agua, los ductos de aire, la chimenea, el horno del hogar y la turbina en general.

Para esto el primer paso fue lijar las superficies para eliminar las impurezas residuales de la corrosión de todo el equipo y de la turbina.

CAPÍTULO 3

Posteriormente con ayuda de una pistola de aire se aplicó una capa de praimer alquidialico como base de adhesión para la pintura final, esto se muestra en la figura 26 y 27.

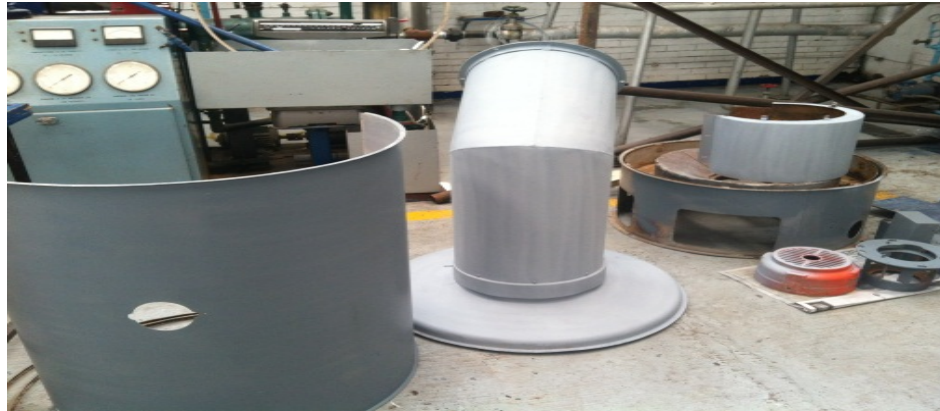


Figura 26. Proceso de pintura.



Figura 27. Aplicación de pintura a los sistemas de bombeo.

Se eligieron los colores para cada parte del equipo, figura 28, y como paso final se aplicó la pintura especial para altas temperaturas, cuidando que las partes que no requieren pintura (caratulas de instrumentos) no se manchen durante el proceso. Este proceso lo evidenciamos en la figura 29.

CAPÍTULO 3



Figura 28. Aplicación de pintura en las tolvas principales.

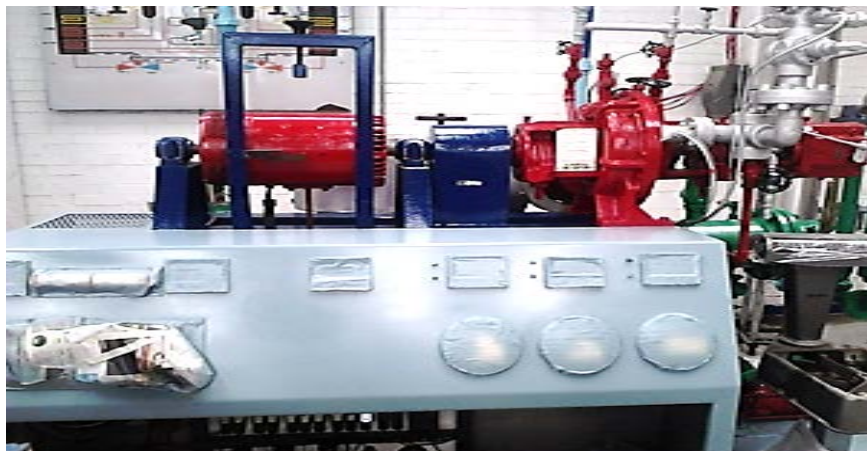


Figura 29. Mantenimiento a la turbina.

Las paredes del área de la caldera y la turbina también se pintaron con ayuda del equipo de servicio social del laboratorio.

Antes de empezar con el proceso de pintura en el sistema, nos encargamos de limpiar y lavar toda el área y los elementos periféricos para desprender la suciedad acumulada, para esto ocupamos una hidrolavadora.

Para complementar el servicio a la turbina desmontamos el rotámetro para limpiarlo internamente y cambiar la pantalla que facilita su lectura. Figura 30 y 31.

Desmontar los rotámetros requirió que a l momento de su instalación se colocaran empaques nuevos, para esto se fabricaron de un material llamado

CAPÍTULO 3

velomoy que es muy efectivo para evitar fugas y garantizar la estanqueidad del sistema.



Figura 30. desmontaje del rotámetro.



Figura 31. Instalación del rotámetro.

Los termo pozos que contienen los termómetros de lectura de los diferentes circuitos de entrada y salida de fluido y gas a la turbina se limpiaron y se pulieron para mejorar su aspecto físico la figura 32 muestra el resultado de ello.

CAPÍTULO 3

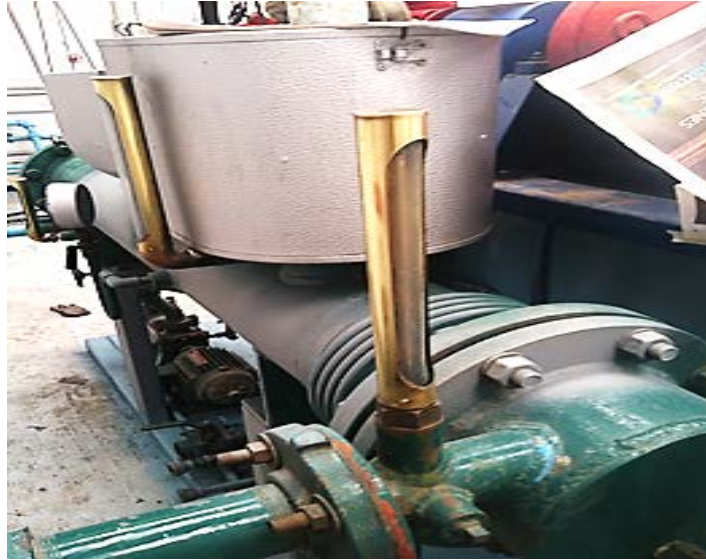


Figura 32. Limpieza de los termo pozos.

En la torre de enfriamiento se presentaron varios problemas que impedían su correcto funcionamiento, a sí que fue necesario hacer un servicio de mantenimiento correctivo en varios puntos de este elemento para garantizar primero su buen funcionamiento y en segundo término corregir trabajos anteriores que la habían dejado indispueta.

El punto medular de estos servicios consistió en sellar el tubo principal de direccionamiento de fluido, que puesto que se le había hecho anteriormente un servicio, se quedó abierto en un punto de bifurcación, por lo cual se requirió desmontar el tubo para fabricarle un tapón lo anterior lo demuestra la figura 33.

CAPÍTULO 3

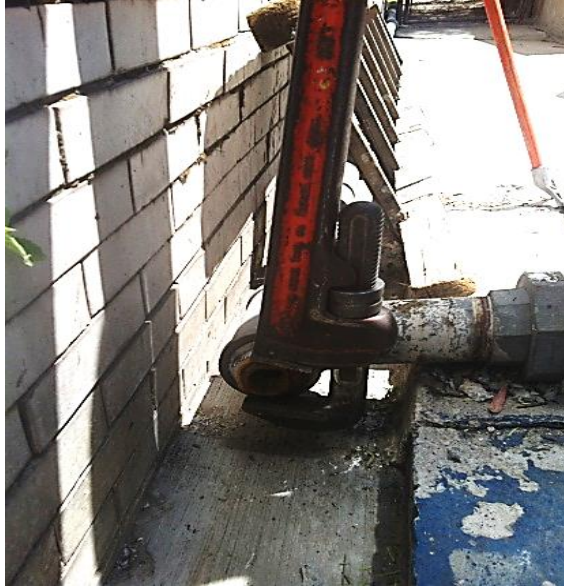


Figura 33. Desmontaje de la parte afectada.

El sello se fabricó de placa de acero, para esto se maquinó el extremo del tubo que había sido cortado irregularmente con un soplete, esto se hizo en el laboratorio de tornos de esta escuela así como lo vemos en la figura 34.



Figura 34. Maquinado del tapón para tubería.

CAPÍTULO 3

Ya rectificado se soldó el nuevo sellado con soldadura de arco eléctrico verificando que no existieran fugas, y se instaló nuevamente, el resultado se muestra en la figura 35.



Figura 35. Instalación de la pieza ya terminada.

Así mismo en la torre de enfriamiento, el espacio que alberga el agua que sale de la torre se recubrió de una protección plástica que se adhirió a las paredes, figura 35 esto con la finalidad de evitar que el agua se permee hacia el exterior, y también con el propósito de mantener el fluido lo más limpio posible durante la operación del ciclo Rankine.



Figura 35. Forrado de la tina de la torre de enfriamiento.

CAPÍTULO 3

Cuando el fabricante devolvió el serpentín del generador, nos encargamos de armar de nueva cuenta todo el equipo.

Soldando las piezas que se habían desensamblado para su desmontaje, la soldadura que se requirió fue de acero inoxidable, las piezas fueron: la brida de des-hollinado y una lámina protectora de la parte exterior del serpentín misma que se observa en la figura 36



Figura 36. Protección soldada en el laboratorio L1.

Se recubrió el serpentín con su protección metálica y a la vez con el material térmico. Justo en el orden inverso en el que fue desmontado.

Posteriormente se instaló el cinturón termostático, en su conjunto con su sistema eléctrico para su funcionamiento óptimo, para esto se cambiaron las terminales eléctricas y se soldaron, los puntos de unión para evitar falsos contactos., se aislaron los cables que quedaron expuestos y se cerraron los accesos.

Se fijó en su lugar y se colocaron las tolvas stéticas, sus tubos de alimentación y descarga de vapor, la chimenea de gases de escape, los controles de ignición, el quemador, la alimentación de combustible y se preparó para el arranque. En la figura 26 se muestra cómo es que quedó la unidad al final del ensamblaje.

CAPÍTULO 3



Figura 37. Unidad ya ensamblada.

CAPITULO 4

Operación del ciclo Rankine con turbina (mediciones)

En este capítulo definimos la manera correcta de encender, operar y apagar el generador de vapor y la turbina COPPUS. Se mencionan también las lecturas arrojadas durante la operación después de la reparación, lecturas que se ocuparán como marco de referencia para determinar la eficiencia y el estado físico del generador de vapor.

CAPÍTULO 4

La rehabilitación del generador de vapor Clayton de la fcs Aragón se realizó en conjunto y con apoyo del fabricante, el mismo que recomendó dos tipos de pruebas a realizar para garantizar un trabajo de calidad y duradero.

La primera prueba fue la hidrostática, realizada para comprobar que la reparación llevada a cabo sea eficiente y soportara una presión de operación hasta 400 lb/in².

La segunda se realizó para garantizar que se pueda suministrar vapor a manera de poder trabajar un equipo como la turbina de vapor, en la realización de sus correspondientes prácticas.

Durante esta prueba analizamos la importancia de tener bien establecido un protocolo de arranque operación y mantenimiento, por medio del cual garanticemos una operación que permita mantener en buen estado el equipo.

Así también se revisó de referencia para que las prácticas que se realicen tengan un marco de referencia sólido sobre el cual se puedan actualizar las prácticas que en este laboratorio se realicen.

Ya realizadas las pruebas mencionadas obtuvimos lecturas que facilitarán cotejar los datos obtenidos para saber los parámetros de operación y estado físico de la unidad.

El procedimiento para el arranque del generador de vapor es una secuencia de pasos que dan la confianza en todo momento de una operación segura, eficiente y a severamos que los equipos no sufran ni ningún tipo de daño ocasionando que alguna falla detenga la realización de las pruebas.

Por esta razón se pone especial cuidado en la secuencia y métodos de seguridad, como se verá a continuación.

4.1 Procedimiento de arranque del generador de vapor:

1 Administrar agua suave en el tanque de condensados, esto después de realizarle una prueba de dureza.

a) Dosificar las cantidades ya calculadas de los químicos para el tratamiento del agua de alimentación, policlay, aminclay y oxicluy, por medio de la bomba periférica de dosificación. Considerando que la duración de una práctica de laboratorio es de una hora con treinta minutos

CAPÍTULO 4

aproximadamente, ajustamos la dosificación recomendada por Clayton para ocho horas de operación continuas. Lo anterior se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Dosificación de químicos para el tanque de condensados.

Producto	mililitros
Oxiclay	700
Aminclay	400
Policlay	60

b) El monitoreo de la actividad de quemador la efectúa una fotocelda que va instalada en la parte inferior de la tolva que genera la voluta de aire de entrada al quemador, indicando por medio de un testigo luminoso la correcta operación del quemador en el tablero de control.

El segundo paso es asegurarnos que ésta fotocelda está instalada, conectada y bien atornillada.

c) Preparar los sistemas de alimentación de agua, combustible y alimentación eléctrica al generador de vapor.

Es en este punto en donde planteamos la propuesta de generar una tabla de inspección en donde se controlen y recuerden estos parámetros.

d) Previo al arranque del sistema de generación de vapor y en estricto orden de actividades es necesario inspeccionar que en el tablero de control los interruptores que a continuación mencionamos estén en las recomendadas posiciones:

Off: Bomba auxiliar.

Fuego bajo: Interruptor del quemador.

Llenar: en quemador apagado.

Operación del generador de vapor:

e) Se comienza a llenar el serpentín con agua del tanque de condensados por medio de la bomba auxiliar, con el interruptor que comanda su funcionamiento desde el tablero colocándolo en posición de encendido.

f) La válvula de inspección colocada en el cabezal de alimentación de agua indica cuando el serpentín está a su capacidad ideal de trabajo, en el

CAPÍTULO 4

momento en que empieza a derramar agua, cerramos la válvula y en este momento pasamos al siguiente punto.

g) Es importante mencionar que la bomba auxiliar no se debe apagar. La unidad de generador de vapor se enciende con un botón verde situado en el panel de control en este paso es cuando se acciona, y en reacción secuencial se pone en operación la bomba de suministro de agua, la bomba de combustible y el ventilador.

h) la alimentación del combustible está sometida a una presión regulable por medio de una válvula conectada a un manómetro que indica la presión en el justo momento en que se monitorea.

Cerrando la válvula obtenemos un incremento de presión, es necesario detener el cierre cuando llega a los 8kg/cm^2 .

i) En este paso cambiamos a la posición de quemador encendido e l interruptor que está marcado con operar/llevar y en el mismo momento se continua cerrando la válvula de alimentación de combustible hasta lograr una presión aproximada a los 14kg/cm^2 .

j) Con estas condiciones de presión de combustible, el generador automáticamente enciende el quemador del generador de vapor, lo podemos asegurar monitoreando el indicador luminoso en el tablero.

Una vez encendido el quemador tendrá tres ciclos automáticos de encendido y apagado para avalar un funcionamiento correcto.

K) Durante la cuarta ocasión en que se enciende el generador de vapor, es necesario iniciar la apertura de la válvula de descarga de vapor, y la válvula que permite la admisión del vapor al cabezal distribuidor.

l) La condición de descarga de vapor en la válvula se mide con un manómetro que nos debe indicar una presión de salida de vapor promedio de 7kg/cm^2 .

Ejecutados los ciclos automáticos de encendido y apagado el quemador se mantendrá encendido en condiciones de presión de entre 5 y 7kg/cm^2 de presión de vapor ya mencionados con antelación, en cuanto la presión decae el quemador se encenderá para mantener el rango de operación estable.

CAPÍTULO 4

La duración de los intervalos de encendido son recíprocos a la disminución de presión. El interruptor que comanda el fuego alto o fuego bajo determina estos ciclos de operación dependiendo del consumo del vapor generado.

m) Es imperativo que si el vapor generado no se utiliza se descargue hacia el exterior e interior del laboratorio por medio de las válvulas asignadas a esta función colocadas en el cabezal distribuidor. Con la condicionante que el quemador esté operando a fuego bajo.

n) El nivel de combustible debe ser revisado como mínimo en periodos de 10 minutos para evitar que el sistema trabaje con poco diesel y se apague repentinamente.

ñ) Una vez hechas las lecturas o la práctica es necesario apagar el equipo de manera correcta.

Para ello se pone en posición off el interruptor operar/llevar, en ese momento se cierran las válvulas de desfogue de vapor del cabezal distribuidor, con especial cuidado de no sobrepasar la presión de los 7kg/cm^2 ni dejar que baje de los 6kg/cm^2 . En un mismo movimiento se abre la válvula de entrada de presión de combustible para eliminar la presión de este en el sistema.

o) Sucesivamente se oprime el botón rojo del panel de control y abrir la válvula de salida de agua hasta que por medio de ella se vea que el fluido que expulsa sea solo vapor y nada de agua, enseguida se cierra la válvula de salida de vapor del cabezal distribuidor, para descargar completamente el generador de vapor.

p) comprobando que el vapor y a no salga del sistema se debe tomar en cuenta que se tienen que monitorear los sistemas, confirmándolo en una tabla de la bitácora de servicio para asegurar que las condiciones de apagado son estables y garantizar un próximo arranque sin dificultades.

4.2 Arranque de la turbina COPPUS

Previo al arranque de la turbina se deben tener estas condiciones iniciales.

a) Debemos llenar la tina de la torre de enfriamiento y encender el ventilador.

CAPÍTULO 4

- b) Encender la bomba para agua principal que alimenta el intercambiador de calor de casco y tubo de la turbina con la torre de enfriamiento.
- c) Encender el sobre calentador de vapor hasta que alcance su temperatura de trabajo requerida (270°C).
- d) Verificar que el rotámetro está operando, es decir dando lectura del flujo de entrada y salida de agua al sistema.
- e) Tener cerradas las válvulas de alimentación de la turbina.
- f) Confirmar que las resistencias estén apagadas del generador y libre el medidor de torque de la salida de potencia de la turbina.
- g) En cuanto la unidad generadora de vapor esté trabajando de manera estable en su capacidad media de operación se procede a dirigir el vapor hacia el sobre calentador que estará trabajando a una temperatura de 170°C y con una presión constante de 7_{bar} . Estas condiciones son las ideales para que el vapor tenga la calidad requerida para entrar a la turbina.
- h) Obtenida la presión de alimentación constante de la unidad generadora de vapor a la turbina se procede a encender la bomba de vacío y empezamos a alimentar las toberas de la turbina una a una por medio de las válvulas de alimentación. Durante este proceso se monitorean las rpm en la flecha de salida al generador de corriente.
- i) Se procede a encender el banco de resistencias a fin de consumir la energía generada.

4.3 Procedimiento de apagado del generador de vapor.

- a) Para apagar el generador de vapor, primero se cierran las válvulas de las toberas de la turbina para detener su operación.
- b) Apagar el banco de resistencias y la bomba de vacío.
- c) Cerrar gradualmente la salida de vapor del generador de vapor al momento en que se apaga la unidad desde el control central.
- d) Se cierra la válvula de alimentación de combustible
- e) Apagar la bomba para agua del tanque de condensados.

CAPÍTULO 4

e) Dejar que se descargue totalmente.

f) Cerrar la válvula de alimentación del serpentín.

g) Cerrar la válvula de salida de vapor para que el vapor atrapado genere un vacío al momento de su enfriamiento y dejar seco el serpentín.

4.4 Datos obtenidos

Establecidas las condiciones de trabajo y de alimentación de vapor a plena carga y teniendo la turbina operando de forma estable, llevamos a cabo la recolección de datos necesarios para determinar los rangos de trabajo en las memorias de cálculos de las prácticas.

Los datos colectados son los siguientes:

Tabla 3. Datos obtenidos durante los arranques posteriores a la reparación.

Unidad	Valor	Unidad de medida
Resistencia	5	KW
Voltaje	150	Volts
Amperaje	15	Amperes
Fuerza	54	Newtons
Temperatura sobre calentador	219	Grados Celsius
Temperatura 1	215	grados Celsius
Temperatura 2	200	Grados Celsius
Temperatura 3	123	Grados Celsius
Presión1	7.2	bares
Presión 2	5.6	bares
Presión 3	0.25	bares
Flujo másico	3.5 /5	Kilogramos/minutos
Revoluciones	2890	rpm

CAPÍTULO 4

Para fines de control y comparación se llevaron a cabo más pruebas en marcha y del mismo modo se recolectaron datos, los cuales presentamos en las tablas siguientes:

Tabla 4. Datos de arranque

Unidad	Valor	Unidad de medida
Resistencia	5	KW
Voltaje	110	Volts
Amperaje	12	Amperes
Fuerza	34	Newtons
Temperatura sobre calentador	217	Grados Celsius
Temperatura 1	150	grados Celsius
Temperatura 2	140	Grados Celsius
Temperatura 3	52	Grados Celsius
Presión 1	6	bares
Presión 2	5	bares
Presión 3	-0.2	bares
Flujo másico	3.5 /5	Kilogramos/minutos
Revoluciones	2400	rpm

Tabla 5. Arranque posterior a la rehabilitación del equipo.

Unidad	Valor	Unidad de medida
Resistencia	5	KW
Voltaje	110	Volts
Amperaje	12	Amperes
Fuerza	36	Newtons
Temperatura sobre calentador	213	Grados Celsius
Temperatura 1	155	grados Celsius
Temperatura 2	140	Grados Celsius

CAPÍTULO 4

Temperatura 3	53	Grados Celsius
Presión1	6.4	bares
Presión 2	5	bares
Presión 3	0.2	bares
Flujo másico	3.5 /5	Kilogramos/minutos
Revoluciones	2890	rpm

Tabla 6. Segunda toma de lecturas posterior a la rehabilitación del equipo.

Unidad	Valor	Unidad de medida
Resistencia	5	KW
Voltaje	220	Volts
Amperaje	5	Amperes
Fuerza	30	Newtons
Temperatura sobre calentador	218	Grados Celsius
Temperatura 1	251	grados Celsius
Temperatura 2	229	Grados Celsius
Temperatura 3	115	Grados Celsius
Presión1	6.5	bares
Presión 2	6	bares
Presión 3	-05.	bares
Flujo másico	3.5 /5	Kilogramos/minutos
Revoluciones	2900	rpm

La turbina de vapor en condiciones estables de trabajo tiende a arrojar datos que son considerados como constantes, puesto que las variaciones que reflejan tienen una variación mínima durante la generación de trabajo a 1kw por lo cual los acotamos en la siguiente tabla:

CAPÍTULO 4

Tabla 7. Valores de masa y temperatura a la salida de la turbina.

Agua de enfriamiento del condensador	500 lt/hr
Consumo de la caldera	36 lt/hr
Presión de vacío del condensador	430 mmHg
Masa de vapor condensado en el tanque	50.5-18.6 kg(peso del tanque) 31.9 kg
Temperatura a la entrada del condensador	19 °C
Temperatura a la salida del condensador	38 °C
Temperatura de vapor a la entrada del condensador	98 °C
Temperatura de vapor a la salida del condensador	40 °C

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al término de todas las actividades aquí mostradas, recomendamos un conjunto de acciones que alargarán la vida útil del equipo y así también darán la pauta para que sean actualizados los manuales de prácticas que se pueden realizar en este laboratorio.

Consideramos recomendable que la operación y arranque del generador de vapor y turbina sea ejecutado y monitoreado por medio de guías y manuales.

El objetivo de rehabilitar el generador de vapor se consiguió con recursos existentes en los laboratorios de esta facultad y con el apoyo de la jefatura de división de las ingenierías.

Cabe destacar que el mantenimiento correctivo y preventivo del generador de vapor se puede llevar a cabo mediante procedimientos y observaciones presentados en este trabajo de tesis.

Considerando cumplir el objetivo de dar servicio y obtener las pruebas adecuadas al trabajar en el generador de vapor, se constató la correcta reparación que se le hizo, preparando de antemano un servicio preventivo a los elementos periféricos de la turbina (aislar la tina de la torre de enfriamiento, taponar los tubos averiados, reparar los rotámetros). Una vez realizadas las actividades mencionadas se puso en operación de manera óptima.

Los datos obtenidos quedan registrados en la presente tesis, como una referencia de las condiciones de operación de los equipos en que deben operar en condiciones normales.

Es necesario crear una bitácora de operación y mantenimiento conforme lo indica el fabricante del generador de vapor, para mantener en buenas condiciones el generador, así como los sistemas periféricos como suavizador de agua a fin de cumplir con los requisitos de uso y de este modo respetar la guía de operación que en la presente tesis proponemos.

En la sección de anexos proponemos un ejemplo de hojas de control que a nuestra opinión y experiencia sirven para normalizar el uso del generador de vapor Clayton y garantizar el uso y cuidado del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Carl D . Sh ields. (1965). *Calderas, tipos características y sus funciones*. McGraw-Hill

Código Internacional ASME (2010) *Calderas y recipientes a presión Sección VIII Normas para la Construcción de Recipientes a Presión División 2: Reglas alternativas*. ASME. EE.UU.

Código internacional ASME (2010) *Calderas y recipientes a presión. Sección II .Materiales para recipientes sujetos a presión. Parte A*. EE.UU.

Código Internacional ASME (2010) *Calderas y recipientes a presión Sección VIII Normas para la Construcción de Recipientes a Presión División 3: Reglas alternativas para la co nstrucción d e r ecipientes su jetos a p resión*. ASM E. EE.UU.

CLAYTON (2013) *manual de operación y mantenimiento para las calderas de vapor Clayton*

Dounce V., Enrique. (1990) La administración en el mantenimiento. Editorial C.E.C.S.A.

Manual de capacitación para operación y mantenimiento programado (2012) consultado en febrero de 2014 www.clayton.com.mx/intranet/literatura.info-entrenamiento/manuals2012

ANEXOS

ANEXOS

De manera complementaria en esta tesis exponemos un extracto del manual de operación Clayton, esto a referencia de las actividades necesarias a hacer antes, durante y después de hacer trabajar el equipo, como regla para mantener en buenas condiciones el equipo.

Anexo A Servicio de tratamiento químico al agua para mantener el serpentín en buenas condiciones

El tratamiento químico al agua tiene por objeto proteger el equipo de corrosión e incrustación. Las consecuencias que origina el descuido al tratamiento del agua, normalmente repercuten en altos costos de mantenimiento y combustible así como en el consecuente desgaste prematuro en el equipo.

El fabricante refiere que la máxima eficiencia del equipo se obtiene monitoreando en todo momento la calidad del agua que alimenta el equipo. Por ello es necesario que cada vez que se opere el equipo el agua reúna las siguientes características:

Tabla 8. Condiciones ideales del agua

Dureza	0 ppm
Ph mínimo	10.5
Ph máximo	11.5
Nivel mínimo de sulfatos residuales	50 ppm
Nivel máximo de sulfatos residuales	100 ppm
Nivel mínimo de sólidos residuales disueltos	300 ppm
Nivel máximo de sólidos residuales disueltos	600 ppm
Hierro disuelto	≤ 1.0 ppm
Sólidos disueltos	0 ppm
Sílice	120 ppm

ANEXOS

Para mantener el agua en las condiciones antes especificadas, es necesario monitorear constantemente la dureza del agua de esa manera se determina cuando se debe realizar el proceso de regeneración de la salmuera y supervisión del suavizador de agua.

Compuestos químicos y accesorios para el control de agua de alimentación

Clayton, fabricante del equipo nos favoreció en proveer compuestos químicos llamados *policlay*, *aminclay* y *oxiclay*, que en conjunto con los accesorios de tratamiento de agua (equipo suavizador de agua, bombas dosificadoras, tanque de condensados) complementan un sistema completo y de bajo costo, que nos permiten acondicionar el agua a utilizar en el generador de vapor. Esto se puede comprobar en el catálogo de productos Clayton (pp. 52)

Dureza del agua

El agua de la red pública (agua dura) contiene sales minerales disueltas principalmente calcio y magnesio, esto debido a su origen que normalmente pozos subterráneos. Si utilizáramos ésta agua en nuestro equipo generador de vapor, provocaríamos el desprendimiento de éstas sales minerales dentro del serpentín de e vaporación en forma de capas adherentes, conocidas comúnmente como incrustación. La incrustación, de acuerdo a lo anterior, puede definirse como el depósito de sales minerales que se adhieren a las paredes metálicas del tubo en donde se genera el vapor.

Estos depósitos de sales minerales se van acumulando en forma de capas incrustantes, mismas que provocan la reducción del diámetro interno del tubo y en casos extremos provocan la obstrucción total.

La incrustación actúa como aislante térmico que impide la transferencia de calor de los gases de combustión hacia el agua que está dentro del tubo y en consecuencia produce sobrecalentamiento en el generador. Este sobrecalentamiento disminuye la eficiencia del sistema de generación e incrementa el consumo de combustible.

Eliminar la dureza del agua de alimentación es prioridad para una generación eficiente de vapor y sin riesgo de incrustación en la caldera. Es por medio de un equipo suavizador de agua el método más efectivo de lograr eliminar la dureza del agua.

Equipo suavizador

El equipo suavizador está compuesto por:

a) Tanque de resina este tanque contiene una resina catiónica o zeolita depositada sobre un lecho de grava que le sirve de soporte y a la vez para filtrar el agua que sale de este depósito.

La resina al entrar en contacto con el agua dura, provoca una reacción química para intercambiar los iones de sodio que contiene la resina, por iones de Calcio que contiene el agua, que es el principio de suavización de agua.

b) Tanque de salmuera. Este depósito cuenta con un flotador, una línea de succión y una salengrana inmersa en agua. Esta solución es la comúnmente se le llama salmuera, y se utiliza para reactivar la resina a fin de que recupere su capacidad de intercambio iónico, que intercambié cuando estaba en posición de servicio.

c) Válvula múltiple. De tres vías que controla las diferentes fases de operación del suavizador, por medio de un control mecánico las cuales son: lavado, regenerado y enjuague y en servicio

Operación del suavizador

a) Servicio – cuando el control del suavizador se encuentra en la etapa de servicio, el agua dura proveniente de la red pública entra en la válvula para luego circular dentro del tanque y así entrar en contacto con la resina.

De esta forma se realiza el proceso de suavización por intercambio iónico, cuando la resina retiene los iones de calcio y magnesio del agua que son los incrustantes, y los intercambia por los iones de sodio.

b) Retro lavado el agua dura entra al tanque a través del conducto de alimentación de la válvula, bajando por el tubo central hasta salir por el tubo inferior, de manera que pueda expandir la resina hacia arriba arrastrando los sólidos y los lodos acumulados sobre el lecho, conduciéndolos hacia el drenaje a través de otro circuito de válvula. El porcentaje de retro lavado es gobernado por el control de flujo instalado en la línea de descarga al drenaje.

c) Regenerado y enjuague. Esta parte del proceso es demasiado lento, para este efecto se debe reponer con anticipación, la cantidad especificada de sal, a fin de que en esta etapa la válvula absorba del tanque de salmuera, una solución saturada de sal, misma que al entrar en contacto regenerará la

ANEXOS

resina, para luego ser descargada hacia el drenaje hasta haber absorbido la salmuera de la que se dispone

d) Reposición al tanque de salmuera. Después de un periodo de regeneración, es necesario agregar al tanque de salmuera la cantidad de sal requerida para su correcto funcionamiento, la carga inicial es de 50 kg y su carga por cada ciclo de regeneración es de 14 kg. Estos datos se obtienen del manual de operación Clayton. En la tabla 8 se muestran las especificaciones del equipo suavizador.

Tabla 9. Características y capacidades del equipo suavizador de la FES ARAGON

Capacidad suavizadora	100 gr
Diametro de tubería	1 pulgada
Flujo en servicio	114 lt/min
Flujo para lavado	38 lt/min
Dimensiones del tanque suavizador	0.51 X 137 m
Capacidad del tanque de resina	120 kg
Capacidad del tanque de salmuera	0.57 X 90 m
Carga inicial de sal	50 kg
Sal requerida por regeneracion	14 kg
Tiro de salmuera	38 cm

Corrosión

La corrosión del metal en los sistemas generadores de vapor es un proceso complejo y constituye muchas formas de ataque.

En términos generales, se puede definir la corrosión como el deterioro total o parcial de un metal a consecuencia de una reacción química o electroquímica.

Los principales factores que provocan la corrosión son:

- a) Oxígeno disuelto
- b) PH del agua
- c) Ácido carbónico

Corrosión por oxígeno disuelto

ANEXOS

Para evitar la corrosión por oxígeno, el agua de alimentación debe estar libre de estos gases. El agua en su estado natural y a temperatura ambiente, contiene oxígeno y otros gases, como el bióxido de carbono, que podemos eliminar aumentando su temperatura.

Hay diversos métodos de calentamiento del agua de alimentación, tales como el uso de un deaerador, tanque de condensados y el uso de reactivos químicos.

El método utilizado en el generador instalado en laboratorio de máquinas térmicas, que es de sistema abierto que consiste en precalentar el agua de alimentación almacenada en el tanque de condensados, con agua caliente que es recirculada directamente desde el serpentín.

Para este efecto se aprovecha el calor que proviene del retorno de condensados (trampa de vapor y líneas de servicio) además de una línea de vapor proveniente del separador que es controlada por una válvula termostática.

Para una buena eliminación del Oxígeno y el bióxido de carbono es necesario mantener una temperatura de 6 a 8 °c por debajo del punto de ebullición, lo anterior se logra cuando el retorno de condensados es más del 60% del total del agua consumida por el generador.

El oxígeno remanente en el agua del tanque de condensados después del precalentamiento se controla por medio del reactivo químico llamado *oxiclay*, líquido formulado para eliminar los gases corrosivos dejando un residuo protector a base de sulfitos de 50 a 100 ppm.

Corrosión por ph

El agua tiende a ser corrosiva debido al carácter ácido de los gases y sales minerales que se encuentran disueltos en ella. Por esta razón, al entrar en contacto con algunos metales los corroe en forma de desgaste paulatino de la superficie metálica.

Para evitar que esto suceda en el tubo de la unidad de calentamiento es indispensable mantener un pH alcalino en el agua de alimentación a fin de evitar riesgos de una corrosión ácida en el generador de vapor.

ANEXOS

El agua de alimentación del generador de vapor debe tener un pH de 10.5 a 11.5, lo cual se logra por medio de un producto químico líquido denominado policlay, elaborado básicamente para este propósito.

El uso del policlay tiene varios propósitos y funciones, entre las cuales se destacan las siguientes:

- a) Eliminar la dureza residual que se fuga del tanque suavizador (menos de 10 ppm.), formando un lodo ligero no adherente que se elimina de manera sencilla a través de la purga normal del equipo.
- b) Al elevar el pH. Del agua, es decir mantenerlo entre 10.5 a 12.0 unidades, se evita la corrosión por acidez; sí mismo, mantiene disuelta la sílice evitando su precipitación y la formación de incrustaciones duras permanentes.
- c) Elimina la parte más blanda de las incrustaciones y depósitos ya formados.
- d) Limpia el sistema de residuos ferrosos, enviándolos al drenaje de agua.

Corrosión por presencia de ácido carbónico

El agua que sale del tanque de condensados y entra a la bomba para agua para ser enviada a presión por los tubos de la unidad generadora, lleva disuelta en ella sales de bicarbonato de sodio, las cuales al ser expuestas a las altas temperaturas del generador, reaccionan químicamente provocando la generación de carbonato de sodio, agua y bióxido de carbono.

Al seguir aplicando calor, el carbonato de sodio y el agua reaccionan generando hidróxido de sodio y nuevamente bióxido de carbono. El hidróxido de sodio que se genera mantiene estable el pH y además mantiene soluble la sílice.

Por otro lado, el bióxido de carbono generado en la unidad de calentamiento, viaja junto con el vapor (esto por ser un gas no condensable), y al llegar a la línea de retorno de condensado, y encontrarse con una temperatura y presión menores, reaccionan con el vapor condensado generando ácido carbónico, el cual es altamente corrosivo.

Este tipo de corrosión adelgaza considerablemente la superficie metálica del tubo hasta formar una capa de sedimentación y degradación en la parte inferior del tubo.

ANEXOS

Para evitar la corrosión en las líneas de retorno de condensados por presencia de ácido carbónico, el fabricante provee un producto químico en estado líquido llamado *aminclay*, el cual está elaborado a base de aminas neutralizantes que viajan con el vapor, al entrar en contacto con el retorno de condensados neutraliza la presencia de ácido carbónico.

La dosificación de estos productos se debe realizar en la entrada a la bomba de alimentación del generador de vapor para lograr una eficiente eliminación de ácido carbónico.

Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos forman lodos en el agua de alimentación, si llega a acumularse pueden provocar la obstrucción en la unidad de calentamiento.

La manera de eliminar los sólidos disueltos en el generador de vapor es purgando la unidad de calentamiento cada ocho horas de operación de este modo los sólidos disueltos son enviados al drenaje al término de este ciclo de operación

Sólidos en suspensión

Si el agua contiene sólidos en suspensión, al convertirse en vapor los sólidos se depositan en el interior de la unidad de calentamiento ocasionando obstrucciones que afectan la operación del generador. Adicionalmente, dichos sólidos también pueden ser causa de erosión interna.

Los sólidos en suspensión se eliminan del agua de alimentación por medio de filtros instalados en los tubos de bombeo de agua y por medio del sistema del suavizador de agua que elimina gran cantidad de lodos acumulados en la columna de resina mediante el proceso de lavado.

Síntomas típicos de incrustación

Como mencionamos anteriormente el tratamiento y servicio al agua que posteriormente se convertirá en vapor, es de vital importancia para evitar anomalías en el equipo, no obstante con el uso, la edad y en ocasiones una mala operación provoca incrustaciones en el generador de vapor, a continuación mencionamos los síntomas que permiten diagnosticar incrustaciones.

ANEXOS

- a) Incremento a normal de la presión del agua de alimentación (por la restricción de la unidad de calentamiento)
- b) Mayor consumo de combustible
- c) Posible goteo o fuga en la válvula de alivio
- d) Incremento anormal en los gases de combustión
- e) Pérdida de la eficiencia del generador
- f) Interrupción termostática a consecuencia de una cantidad de agua insuficiente en la unidad de calentamiento.
- g) Desgaste prematuro en las partes internas de la bomba para agua

Tratamiento interno

El tratamiento interno comprende la aplicación de los productos químicos OXICLAY y POLICLAY para poder alcanzar los límites adecuados y mantenerlos dentro de los siguientes rangos:

Tabla 10. Análisis de los rangos permisibles del agua para una operación segura

Dureza	0 ppm. (0 g.p.m.)
Alcalinidad	mínimo 10.5 ph, máximo 11.5 ph
Desgasificación (oxígeno y bióxido de carbono), exceso de sulfitos	50 a 100 ppm.
Límite de sólidos disueltos	6000 ppm
Sólidos en suspensión (basura)	Cero

Los compuestos químicos que se requieren para el tratamiento del agua para la operación del generador de vapor cumplen con las siguientes características:

Reacción rápida y completamente ante el oxígeno disuelto

Elevación efectiva del pH del agua que alimenta el generador

Que se combine y elimine la dureza residual que deja escapar el suavizador.

Que no contenga cromitos, a menos excepto (aminclay), taninos ni ingredientes volátiles.

ANEXOS

Que sean seguros para aplicaciones donde el vapor se utiliza para procesos en la industria alimenticia.

La dosificación del producto químico depende de las condiciones de trabajo y es directamente proporcional a las horas de trabajo e inversamente proporcional al porcentaje de retorno de condensados y a la temperatura del agua en el tanque de condensados. En la tabla 11 se explica las cantidades necesarias para dosificar estos químicos para 8 horas de trabajo continuo.

Además puede incrementarse o disminuirse de acuerdo a los análisis del agua.

Dosificación de los productos químicos

Para conocer la cantidad de producto químico a dosificar, es necesario conocer los siguientes datos equivalentes a 1ppm= 1mg/l

Tabla 11. Abreviatura de los parametros

CC	Capacidad del equipo generador BHP
TO	Tiempo de operación
% R.C	Porcentaje de retorno de condensados
F.C	Factor de carga promedio
pH F	Alcalinidad del agua a la fenolftaleína
pH M	Alcalinidad al anaranjado de metilo
1ppm	Equivalente

Además se sabe que:

Tabla 12 referencias de alcalinidad

REFERENCIA	HIDRÓXIDOS	CARBONATOS	BICARBONATOS
2F=M	0	M	0
2F>M	2F-M	2(M-F)	0
2F<M	0	2F	M-2F
F=0	0	0	M

Tabla 13. Calculo de dosificación de productos químicos.

ANEXOS

Cálculo de OXICLAY recomendado en mililitros	(0.7) (C.C.) (15.65) (T.O) (1-.R.C.)(F.C)
Cálculo de POLICLAY recomendado en mililitros	(0.105) (C.C.) (15.65) (T.O) (1-R.C) (F.C)
Cálculo de AMINCLAY recomendado en mililitros:	(0.0027) (C.C.) (15.65) (T.O.) (1 R.C.)(F.C)(Alcalinidad por bicarbonatos)

Considerando un 50% de retorno de condensados, un factor de carga del 50% y 8 horas de operación, la dosificación del producto será:

Tabla 14. Dosificación teórica de productos químicos.

EQUIPO GENERADOR	OXICLAY	POLICLAY
60 BHP	1.31 ml	0.20ml

Equipo de análisis para agua de alimentación marca Clayton

Ya mencionamos la importancia de monitorear las condiciones del agua de alimentación para el generador de vapor, este proceso se lleva a cabo todas las veces que se opere el generador de vapor, en los laboratorios de máquinas térmicas, contamos con un equipo de análisis de agua.

A continuación se detallan los procedimientos que se deben seguir para un monitoreo efectivo que debe ser anotado en una bitácora de mantenimiento.

Toma de muestras

Agua suave (sólo prueba de dureza)

Se toma en la descarga de agua suave del suavizador antes de iniciar la jornada de trabajo del generador de vapor.

La muestra se toma en un frasco limpio y seco. Antes se debe dejar abierta la válvula abierta 30 segundos antes de tomar la muestra para limpiar la línea de impurezas.

Agua de alimentación (prueba de pH, sulfitos residuales, sólidos disueltos totales y dureza)

Esta toma de muestra debe tomarse en la válvula de muestreo o en el grifo del cabezal de la bomba para agua, dos horas después de haber puesto en operación el generador y de haber agregado los productos químicos y puestos en operación la bomba dosificadora.

ANEXOS

Es recomendable lavar los frascos de toma de muestras y tomar las medidas necesarias para evitar quemaduras, debido a la temperatura del agua de alimentación.

Llenar completamente las botellas o los frascos y dejar que se enfríen a temperatura ambiente.

La primera prueba es la de sulfitos residuales.

Procedimiento de prueba de dureza para el agua de alimentación

Pruebas de sulfitos residuales

- a) Llenar el frasco hasta la línea de 5 ml con la muestra de agua a analizar
- b) Agregar con cuidado 15 gotas de solución acondicionadora para sulfitos S-1 y agitar
- c) Adicionar 4 gotas de la solución acondicionadora para sulfitos S-2 y agitar
- d) Lentamente adicionar la solución valoradora de sulfitos S-3, agitando hasta que la muestra cambie de incoloro a color azul. El número de gotas se multiplicará por 6 para conocer las partes por millón de sulfitos residuales del agua, es decir 1 gota = 6 ppm.
- e) Anote los resultados en la bitácora de servicio.

Prueba de dureza

- a) llene el frasco hasta la línea de 5 ml con la muestra de agua tomada
- b) Agregue 15 gotas de solución H-1 y agite
- c) Agregue 2 gotas de la solución H-2 y agite. Si al hacerlo aparece un color azul verdoso, el agua es suave. Si aparece un color rojo púrpura el agua es dura, continúe con el siguiente paso
- d) Agregue la solución H-3, gota a gota con el dosificador en posición vertical y sin hacer contacto con las superficies de los frascos de toma de muestras, agitando después de cada gota. Cuente el número de gotas necesarias para pasar de rojo a azul verdoso.
- e) Multiplique el número de gotas de la solución H-3 utilizadas por el factor indicado en la botella para obtener la dureza presente expresada en partes por millón.
- f) Al reponer la solución H-3 verifique el factor que corresponde a cada gota. No utilice la solución H-3 para cuantificar la dureza total del agua cruda.
- g) Anote los resultados en la bitácora de mantenimiento.

ANEXOS

Anexo B propuesta de hojas de verificación para arranque y paro del G.V

Ejemplo de la hoja de control propuesta para actividades recomendadas antes de iniciar el arranque del equipo.

Las válvulas están mencionadas en un orden con el cual se pueden identificar, este sistema de identificación se realizó con ayuda de los técnicos académicos de manera que todas y cada una de ellas se pudiesen localizar con exactitud por medio de un etiquetado para evitar errores.

GENERADOR DE VAPOR SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA VAPOR Y CONDENSADOS		FECHA ----/-----/----
OPERADOR		ASIGNATURA
VÁLVULA	POSICIÓN ABIERTA / CERRADA	VERIFICACIÓN
válvula 1	ABIERTA	
válvula 2	ABIERTA	
válvula 3	ABIERTA	
válvula 4	ABIERTA	
válvula 5	ABIERTA	
válvula 6	ABIERTA	
válvula 7	ABIERTA	
válvula 8	CERRADA	
válvula 9	CERRADA	
válvula DA	CERRADA	
válvula DV	CERRADA	
válvula X	todas CERRADAS	
válvula RC	ABIERTA	
válvula I	ABIERTA	
válvula CV	ABIERTA	
válvula p	ABIERTA	
válvula EV	ABIERTA	
SISTEMA DE COMBUSTIBLE		
válvula C1	ABIERTA	
válvula C2	ABIERTA	
válvula CP	ABIERTA	
válvula SA	CERRADA	
válvula SB	CERRADA	

ANEXOS

válvula F	ABIERTA (SOLO GIRAR)	
TURBINA DE VAPOR (SISTEMA DE VAPOR-CONDENSADO)		
valvula 10	CERRADA	
válvula 11	CERRADA	
valvula 12	CERRADA	
válvula 13	CERRADA	
válvula 14	CERRADA	
válvula 15	CERRADA	
válvula 16	CERRADA	
válvula 17	ABIERTA	
válvula 18	ABIERTA	
válvula 19	CERRADA	
válvula X	todas CERRADAS	
válvula S	CERRADA	
válvula SF	ABIERTA	
válvula SP	ABIERTA	

De igual modo que en el proceso de arranque, durante el paro del equipo es necesario registrar en la hoja de control que las válvulas estén en la posición que ésta nos indique de acuerdo al ejemplo que proponemos.

Siguiendo este proceso garantizamos que el paro del equipo se haga de manera correcta.

GENERADOR DE VAPOR SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE AGUA VAPOR Y CONDENSADOS		FECHA ----/-----/-----
OPERADOR		ASIGNATURA
VÁLVULA	POSICIÓN ABIERTA / CERRADA	VERIFICACIÓN
válvula 1	CERRADA	
válvula 2	CERRADA	
válvula 3	CERRADA	
válvula 4	CERRADA	
válvula 5	CERRADA	
válvula 6	CERRADA	
válvula 7	CERRADA	
válvula 8	CERRADA	
válvula 9	CERRADA	
válvula DA	CERRADA	

ANEXOS

válvula DV	CERRADA	
válvula X	todas CERRADAS	
válvula RC	CERRADA	
válvula I	CERRADA	
válvula CV	CERRADA	
válvula p	CERRADA	
válvula EV	CERRADA	
SISTEMA DE COMBUSTIBLE		
válvula C1	CERRADA	
válvula C2	CERRADA	
válvula CP	ABIERTA	
válvula SA	CERRADA	
válvula SB	CERRADA	
válvula F	ABIERTA (SOLO GIRAR)	
TURBINA DE VAPOR (SISTEMA DE VAPOR-CONDENSADO)		
válvula 10	CERRADA	
válvula 11	CERRADA	
válvula 12	CERRADA	
válvula 13	CERRADA	
válvula 14	CERRADA	
válvula 15	CERRADA	
válvula 16	CERRADA	
válvula 17	CERRADA	
válvula 18	CERRADA	
válvula 19	CERRADA	
válvula X	todas CERRADAS	
válvula S	CERRADA	
válvula SF	CERRADA	
válvula SP	CERRADA	

REPORTE FOTOGRÁFICO

Reporte fotográfico



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO



REPORTE FOTOGRÁFICO

