



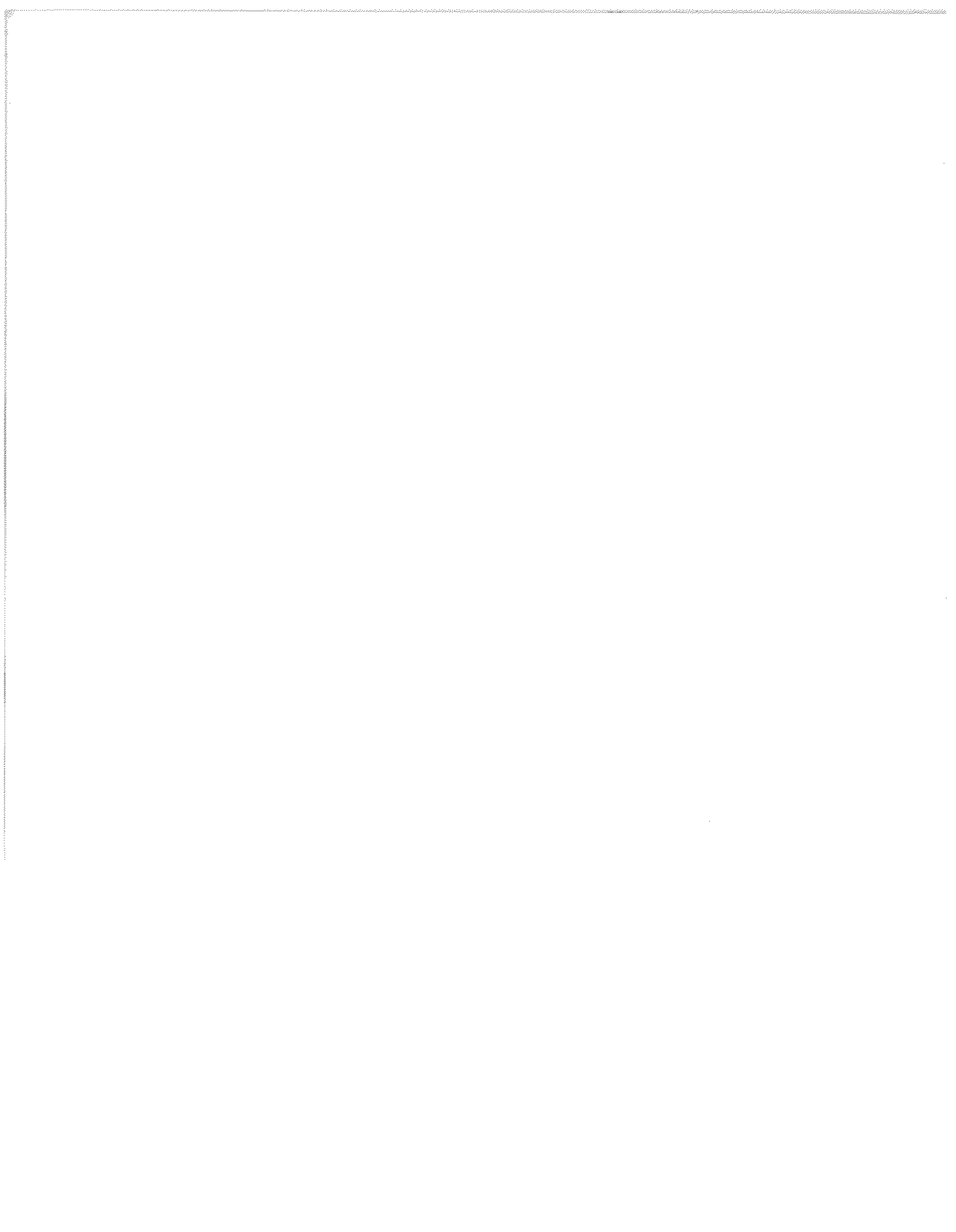
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN
SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN
DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA**

Jorge Vinicio Palencia Sánchez

Asesorado por el Ing. Reinhard Eduardo Majus Wasem

Guatemala, abril de 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN
SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN
DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

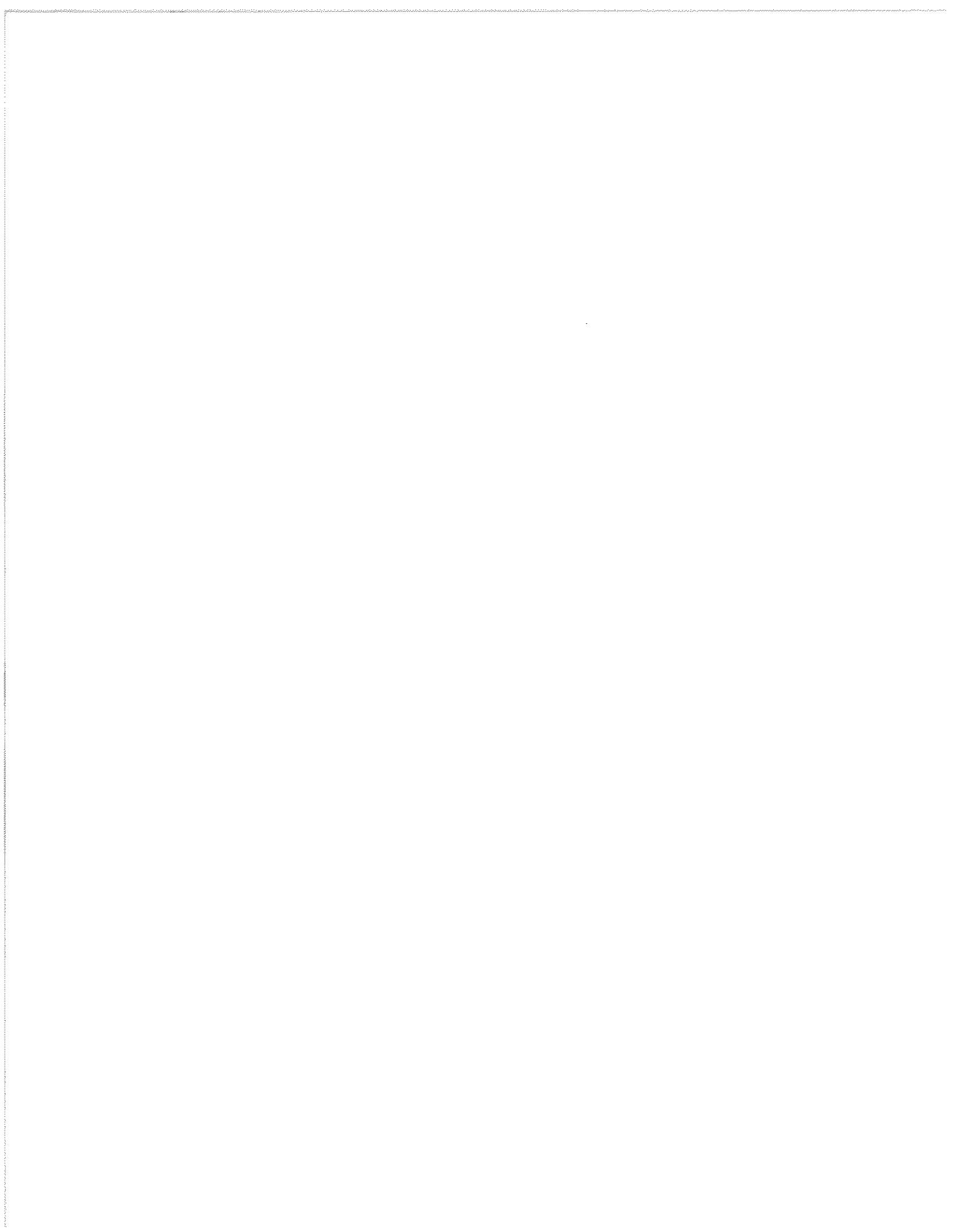
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE VINICIO PALENCIA SANCHEZ

ASESORADO POR EL ING. REINHARD EDUARDO MAJUS WASEM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2007



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia Garcia Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

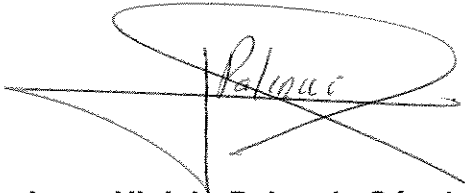
DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR:	Ing. Maurice Bernard Mulet
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de octubre de 2005.



Jorge Vinicio Palencia Sánchez

Guatemala, 5 de febrero de 2007

Ingeniero
Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director de Escuela Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por medio de la presente me es grato comunicarle que se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado "**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA**", desarrollado por el estudiante Jorge Vinicio Palencia Sánchez.

Considero que el trabajo realizado cumple con los objetivos establecidos llenando los requisitos académicos y de práctica necesaria, en virtud de lo cual, lo doy por aprobado, solicitando darle el trámite correspondiente.

Atentamente,



Ing. Reinhard Eduardo Majus Wasem

Colegiado 6278

Reinhard Eduardo Majus Wasem
Colegiado 6278
Ing. Mecánico Industrial



FACULTAD DE INGENIERIA

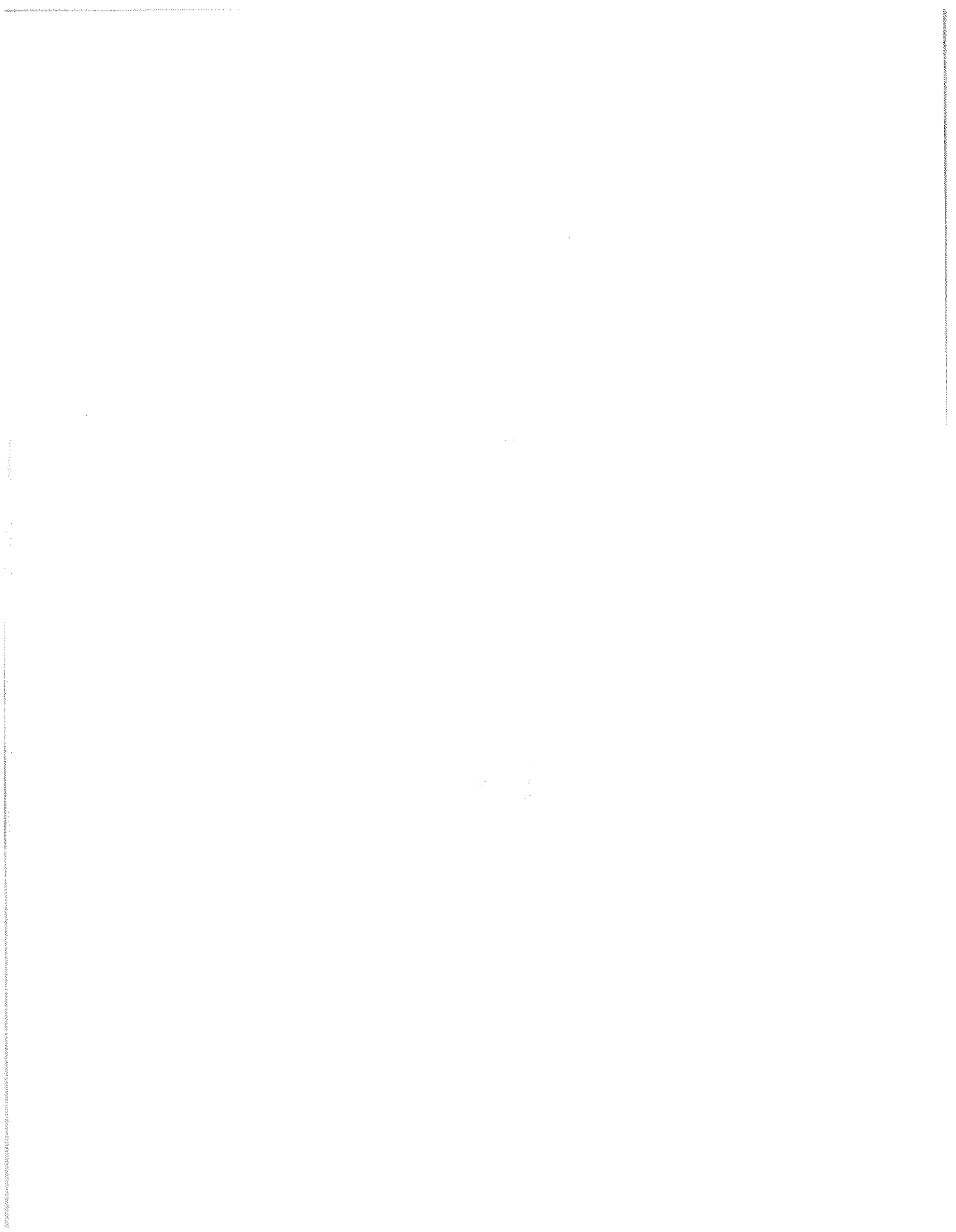
El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA, del estudiante Jorge Vinicio Palencia Sánchez, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área

Guatemala, febrero de 2007.

/behdei





FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado **Propuesta para el mejoramiento de un sistema de vapor en su generación, distribución y utilización en la producción de cal en una Industria Cementera**, del estudiante **Jorge Vinicio Palencia Sánchez**, procede a la autorización del mismo.

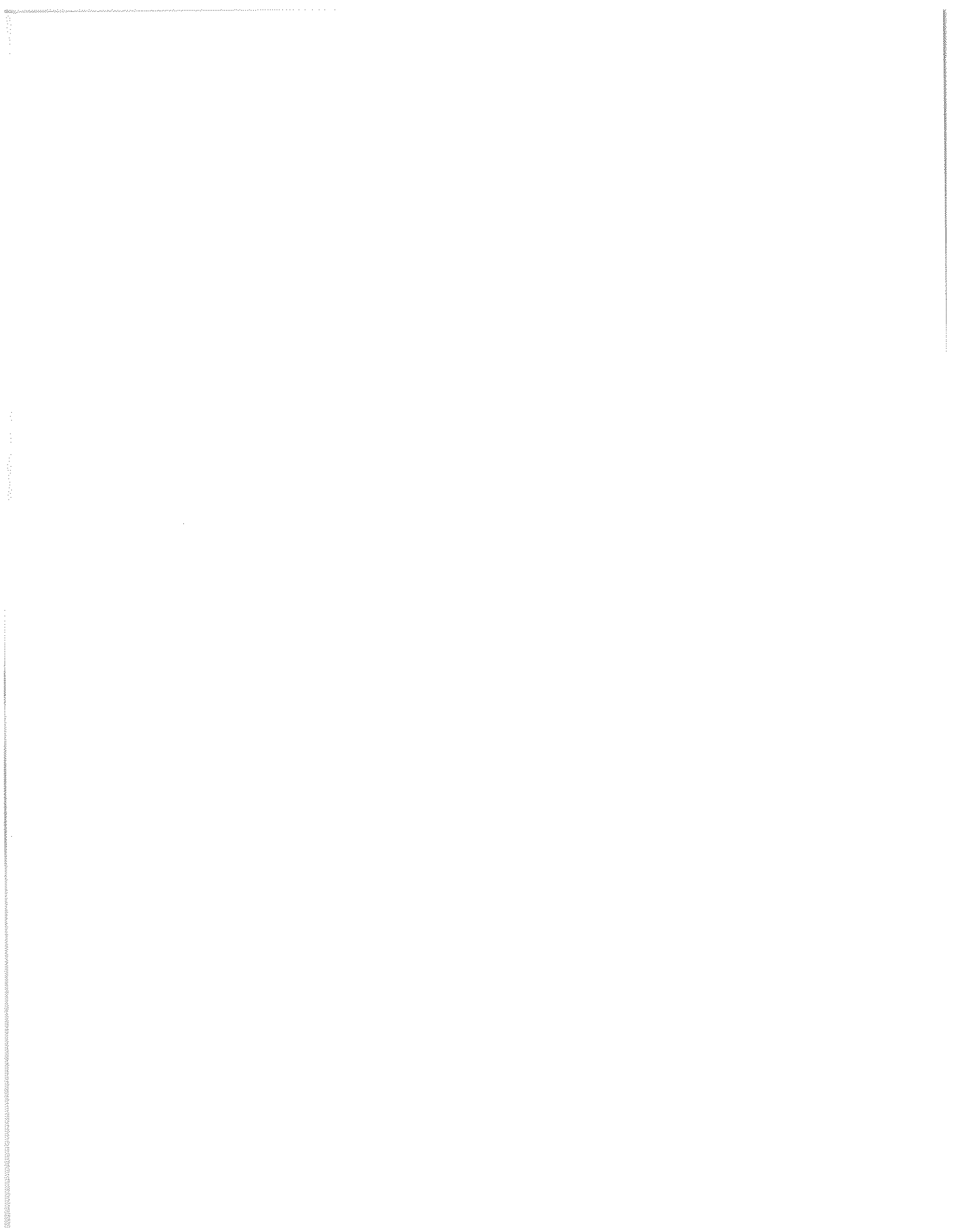
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, abril de 2007.

/behdei





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR EN SU GENERACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL EN UNA INDUSTRIA CEMENTERA**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Vinicio Palencia Sánchez** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. ~~Murphy Olympo~~ Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, abril de 2007



ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por brindarme sabiduría y ser mi ejemplo de sacrificio para todo lo que nos proponemos en la vida.

MIS PADRES

Jose Victor Palencia Chamelé y Eduarda Del Rosario Sánchez de Palencia, por su esfuerzo, amor y confianza para que terminara mis estudios.

MIS HERMANOS

Victor Oswaldo Palencia Sánchez
Ana Beatriz Palencia Sánchez
Edwin Rene Palencia Sánchez.
Por su ejemplo de superación y apoyo.

MIS CUÑADOS

Victor Hugo Barreno y Clarita Navarro

MIS SOBRINOS

Abner Josué Barreno Palencia
Isabel Palencia Navarro
Cristian Barreno Palencia
Victoria Palencia Navarro

MI FAMILIA

Con especial cariño a Maria Elvira Gramajo
Jorge Tulio Palencia y Claudia Secaida.

MIS AMIGOS

Por los momentos inolvidables que hemos compartido en especial a Mynor Palencia, Luis Gramajo, Joseph Raymundo, Herbert De León y Jorge Salazar.

AGRADECIMIENTO A:

MI BELLA PATRIA GUATEMALA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MI ASESOR	Ingeniero Reinhard Eduardo Majus.
MIS CATEDRÁTICOS	Por transmitirme sus conocimientos.
ESCUELA NORMAL	Por abrirme las puertas enseñanza y haberme dado la oportunidad de conocer España.
Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS	que, de una u otra forma, colaboraron e insistieron en la elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Antecedentes de la empresa	1
1.2 Generación de vapor	3
1.3 Utilización del vapor	9
1.4 Clasificación de calderas	11
1.4.1 Por la disposición de fluidos	12
1.4.2 Por su configuración	14
1.4.3 Por el mecanismo de transmisión de calor	16
1.5 Elementos de la caldera	17
1.5.1 Cámara de agua	17
1.5.2 Cámara de vapor	17
1.6 Trampas de vapor	18
1.6.1 Importancia e de las trampas en la distribución de vapor ...	19
1.6.2 Tipos de trampas de vapor	19
1.6.2.1 Termostática	20
1.6.2.2 Mecánica	23
1.6.2.3 Termodinámica	27

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Descripción del sistema actual	31
2.1.1 Chimenea	34
2.1.2 Válvulas	35
2.1.3 Fugas	35
2.1.4 Equipos generadores de vapor.....	37
2.1.5 Equipos consumidores de vapor	40
2.1.6 Descripción de la distribución del vapor.	40
2.1.6.1 Aislamiento de las tuberías.....	41
2.1.6.2 Funcionamiento de las trampas de vapor.....	44
2.1.7 Mantenimiento del sistema.....	47
2.1.7.1 Mantenimiento de calderas.....	50

3. PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR

3.1 Evaluación del sistema de vapor.....	59
3.1.1 Fugas de vapor en tuberías.....	61
3.1.2 Fugas de vapor en accesorios.....	62
3.1.3 Evaluación de aislantes térmicos	64
3.1.4 Instalación correcta de trampas.....	66
3.2 Diseño de tuberías	68
3.2.1 Diseño de cargas.....	71
3.2.2 Diseño de presión.....	73
3.2.3 Control de temperatura.....	76
3.3 Capacitación del personal operativo.....	74
3.4 Factores de seguridad en la selección de trampas de vapor	76
3.5 Auditoría del sistema	77
3.6 Eficiencia en el sistema de vapor	82

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR

4.1 Mantenimiento de la caldera en operación	85
4.1.1 Control de operación rutinaria.....	87
4.2 Mantenimiento fuera de operación.....	89
4.3 Programa de mantenimiento en calderas	92
4.3.1 Mantenimiento diario.....	102
4.3.2 Mantenimiento Semanal	102
4.3.3 Mantenimiento mensual.....	103
4.3.4 Mantenimiento anual.....	104
4.4 Mantenimiento de trampas de vapor.....	105
4.4.1 Corrección de fugas de vapor	107
4.5 Seguridad en las trampas de vapor	108
4.6 Mantenimiento de generadores de vapor	110
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA.....	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1	Trampa termostática de presión balanceada.....	21
2	Trampa de flotador libre.....	23
3	Trampa de vapor de balde invertido.....	27
4	Trampa termodinámica.....	28
5	Fotografía de la válvula del sistema de vapor.....	35
6	Calderas de la empresa.....	39
7	Sistema de distribución de vapor.....	41
8	Tuberías con aislamiento deteriorado.....	44

Tablas

I.	Calendarización para mantenimiento de calderas.....	54
II.	Rutinas para control de calderas.....	90
III.	Alcances del mantenimiento correctivo.....	93
IV.	Incremento potencial de la eficiencia de vapor.....	94
V.	Selección de trampas y factores de seguridad.....	113

GLOSARIO

Aislamiento térmico

Es la capacidad de control de la transmisión de calor, cuando se desea que no exceda ciertos límites.

Caldera

Dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento en donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

Cámara de agua

Recibe este nombre el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 cms. por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores.

Condensado

Es un fenómeno que ocurre cuando una sustancia pasa de una fase de vapor a una fase líquida.

Caldera

Sistema de intercambio de calor compuesto por un haz de tubos metálicos por cuyo interior circula agua, hacia la cual

se transfiere energía por medio de calor desde el exterior para generar vapor que se envía a las turbinas de una central de combustible fósil o nuclear.

Cámara de combustión

Lugar de una central térmica de combustible fósil donde se quema el combustible, con transferencia de energía por medio de calor y producción de subproductos o residuos sólidos y gaseosos. Donde acuíferos subterráneos toman contacto con formaciones rocosas a altas temperaturas.

Ciclo combinado

Ciclo termodinámico empleado en centrales térmicas que usan tanto turbinas de gas como de vapor, para incrementar el rendimiento global de la instalación.

Ciclos de vapor

Procesos cíclicos de una mezcla agua-vapor en máquinas térmicas como la máquina de vapor o en sistemas como una central termoeléctrica. En las diferentes etapas del ciclo pueden intervenir diferentes tipos de procesos termodinámicos, isotérmicos, isobáricos, adiabáticos, entre otros.

Combustión	Reacción química que libera energía por medio de calor, a partir de la combinación entre las moléculas de un combustible y las de un comburente.
Condensadores	Sistemas de intercambio de calor, como las calderas, pero para reconvertir el vapor en agua líquida por condensación, una vez que el vapor ha cumplido su ciclo de trabajo en las turbinas de una central térmica.
Ciclo	Tiempo en que suceden varias cosas y que, al terminar, se repiten en el mismo orden.
Energía	Fuerza que se tiene para realizar un trabajo.
Filtro	Colador muy fino que no deja pasar las partículas sólidas que se encuentran en un líquido y sirve para limpiarlo.
Gaseoso	Es lo que se halla en estado de gas, como vapor.
Generador	Aparato que produce electricidad.

Higroscopia

Es la capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medio ambiente.

Ignifugo

Es un tratamiento certificado retrasante de la acción del fuego y es aplicable sobre todo tipo de material absorbente.

Máquina de vapor

Máquina térmica inventada por James Watt en el siglo XVIII, que utiliza un ciclo de vapor para transferir energía hacia su medio

Mantenimiento

Es toda acción cuyo propósito es mantener a un equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento.

Mantenimiento preventivo

Son todas aquellas acciones realizadas en forma lógica y sistemática sobre un equipo o sistema con la finalidad de mantenerlo trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las posibilidades de ocurrencias de fallas.

Mantenimiento correctivo

Son todas aquellas actividades orientadas hacia la restitución de las características de funcionamiento de un equipo o sistema después de ocurrida la falla.

Mantenimiento predictivo	Es un procedimiento lógico y sistemático que se emplea para determinar la ocurrencia de una falla que esté por presentarse dentro de un sistema.
Oxígeno	Gas que utilizan los seres vivos para respirar. Es uno de los componentes de la molécula del agua.
PH	Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución.
Principios de la termodinámica	Leyes físicas que regulan los fenómenos térmicos y la utilización tecnológica de estos en máquinas térmicas como motores de combustión, calderas, turbinas de vapor entre otros
Poder calorífico	Medida de la capacidad específica de transferencia de energía por medio de calor al quemar un combustible fósil. Se expresa en unidades de energía por unidad de masa (J/kg).
Rendimiento termodinámico	Medida de la capacidad de una máquina térmica para transferir por medio de trabajo (W) parte de la energía absorbida

(Q_c) desde la fuente caliente, de acuerdo con las limitaciones resultantes de la Segunda Ley de la Termodinámica.

Sustancia de trabajo

Sustancia que hace posible las transferencias de energía por medio de calor y de trabajo en una máquina térmica.

Trabajo

Forma de transferencia de energía entre un sistema y su medio exterior, el cual se manifiesta por la actuación de fuerzas capaces de provocar distintos efectos, tales como desplazamientos, deformaciones y otros.

Turbinas

Máquinas que aprovechan la energía de chorros de agua, por medio de turbinas hidráulicas, de gas o de vapor a presión, para accionar los generadores de las centrales eléctricas térmicas.

Trampa de vapor

Es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, su función principal consiste en drenar el condensado que se forma de la condensación del vapor en sistemas de calentamiento, sin permitir la fuga de vapor, para, asegurar que la temperatura deseada del proceso no varíe.

Termodinámica

Es la ciencia de la Ingeniería que está relacionada con el estudio de sistemas termodinámicos reales bajo la óptica de la física del calor.

Vapor

Sustancia en estado gaseoso, los cuales los términos de vapor y gas son intercambiables.

RESUMEN

El aprovechamiento de la energía depende del buen funcionamiento del sistema de distribución de vapor y los accesorios que en este se encuentran, es el caso de las tuberías, aislamientos térmicos, válvulas reguladoras entre otras.

El transporte de vapor es realizado por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, que es una clase de equipo térmico. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas, menores a la máxima alcanzable.

Generalmente, las pérdidas de vapor que existe en un sistema de tuberías se deben a que no existe un programa de mantenimiento del sistema. Cuidar el sistema de distribución de vapor proporciona las mejores oportunidades de ahorrar.

La pérdida de calor por falta de aislamiento térmico en tuberías o mal funcionamiento de las trampas de vapor es un tema de prioridad, ya que, no solo corre riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también, una pérdida de calor que produce condensación de vapor, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

El retorno de condensados en una planta es de gran importancia por cuanto se presenta ahorro de energía. Uno de los usos más importantes que se le pueden dar a los condensados es el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera, pues aparte del ahorro de energía se obtiene un ahorro en los costos de tratamiento de las aguas recicladas por este concepto.

El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión, la cual puede ser recuperada en poco tiempo. El objetivo de este trabajo es mejorar la eficiencia del sistema de generación y distribución de vapor de la empresa en estudio

OBJETIVOS

General

Implementar un programa de mejoramiento de un sistema de vapor en su generación, distribución y utilización, en la producción de cal, aumentando la productividad y eficiencia del vapor.

Específicos

1. Describir los conceptos y principios de los generadores de vapor, así como el sistema de trampas.
2. Conocer cuales son los componentes de un sistema de vapor, los tipos de dispositivos y su importancia.
3. Describir la situación actual en su generación, distribución y utilización del vapor.
4. Proponer soluciones y diseño para el sistema de vapor y lograr maximizar la eficiencia del uso del mismo.
5. Mejorar el sistema de distribución y utilización del vapor, y mantener una producción sin interrupciones.

INTRODUCCIÓN

La producción del vapor en las industrias es un insumo primordial en los procesos de producción. Para lograr la producción del vapor es necesaria su transformación. Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Las calderas, como dispositivos para generar vapor, tienen grandes aplicaciones industriales, las cuales van desde generación de potencia, evaporación, aplicaciones en hospitales, hoteles y otras industrias.

El transporte de vapor se hace, generalmente, por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, la cual es una clase de equipo térmico y luego, desde éste hasta la caldera pero con un menor contenido energético. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

Los sistemas de distribución de vapor o agua caliente, también, se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía que, a su vez, implican mayor consumo de combustible en la caldera. En un sistema de generación y distribución, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como del 30% de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera.

La ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican, también, un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión. Por los factores antes mencionados este trabajo tiene como propósito fundamental proporcionar una

guía para mejorar la generación, distribución y utilización eficiente del vapor y aprovechar al máximo los recursos y en consecuencia una la máxima eficiencia de los equipos y del sistema.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Antecedentes de la empresa

En 1974 la empresa inicia operaciones con una producción de 31,000 sacos diarios. En 1978 la empresa cambia su razón social, con dos plantas incrementada la capacidad a 45,000 sacos diarios de cemento. En 1990 aumenta su capacidad a 95,000 sacos diarios. Y en el año 2000 la empresa aumenta su capacidad a 195,000 sacos diarios.

En la actualidad, la empresa brinda oportunidad de empleo la sociedad guatemalteca. Toda persona que se incorpora a la familia cementera, goza de atractivas políticas salariales, planes de capacitación y desarrollo local e internacional, así como planes de beneficio familiar, reconociendo así el desempeño de cada persona y la importancia de su desarrollo integral. Además la empresa se propone:

- a. Dar al personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.
- b. Impulsar con los proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo.
- c. Contribuir al desarrollo de la comunidad además de proteger y mejorar el medio ambiente.
- d. Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con los clientes una relación duradera para ser su mejor opción.
- e. Garantizar a los accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible.

Una de las líneas de producción de la empresa es la producción de cal. Debido a que la cal debe llenar determinados requerimientos físicos y químicos, se requieren materias primas (calizas) de alta pureza y de un proceso de producción controlado que aseguren la obtención de un producto de calidad. Los pasos que se siguen para la elaboración de la cal hidratada son los siguientes:

- a. Obtención de la piedra caliza
- b. Preparación de la piedra
- c. Calcinación
- d. Hidratación
- e. Almacenaje
- f. Despacho y empaque

En todos estos pasos se observan estrictos controles de calidad, en los que se asegura cumplir y superar las normas nacionales e internacionales para estos productos. El proceso de la cal incluye todos los procesos en la cantera, a través de los cuales se obtiene la piedra caliza, la cual es la materia prima del proceso. La explotación de la cantera se realiza después de un proceso de análisis cualitativo y cuantitativo de los depósitos de caliza, según su pureza y composición.

Existen dos tipos de cal: la especial y la especial para ingenios. La especial es una cal hidratada en polvo elaborada de calizas con alto contenido de carbonato de calcio, calcinadas e hidratadas adecuadamente. La cal hidratada, químicamente es un hidróxido de calcio diferenciándose así de la cal viva o cal cocida que es un óxido de calcio. La especial para ingenios es una cal hidratada elaborada de calizas de alto contenido de calcio, calcinadas e hidratadas por medio de procesos tecnificados y controlados, lo cual garantiza su alto grado de pureza y calidad. Este tipo de cal es utilizada por los ingenios

azucareros del país, por ser un producto necesario y de bajo costo para su proceso de producción.

Visión

“Compartir sueños y construir realidades”.

Misión

“Producir y comercializar cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios de alta calidad”.

1.2 Generación de vapor

Hasta principios del siglo XIX se usaron calderas para teñir ropas, producir vapor para limpieza, entre otros, hasta que se creó una pequeña caldera llamada "marmita". Se usó vapor para intentar mover la primera máquina homónima, la cual no funcionaba durante mucho tiempo ya que utilizaba vapor húmedo (de baja temperatura) y al calentarse ésta dejaba de producir trabajo útil.

Luego de otras experiencias, se completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo. La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776. Inicialmente fueron empleadas como máquinas para accionar bombas de agua de cilindros verticales. Ella fue la impulsora de la revolución industrial, la cual comenzó en ese siglo y continúa en el nuestro.

Máquinas de vapor alternativas de variada construcción han sido usadas durante muchos años como agente motor, pero han ido perdiendo gradualmente terreno frente a las turbinas. Entre sus desventajas encontramos la baja velocidad y (como consecuencia directa) el mayor peso por KW de potencia, necesidad de un mayor espacio para su instalación e inadaptabilidad para usar vapor a alta temperatura.

Calderas sencillas

Las calderas sencillas se montan en una mampostería de anillos refractaria, y allí se instalan el fogón carnicero y conducto de humo. En el hogar, situado en la parte inferior de la caldera, se encuentran las parrillas de hierro fundido y al fondo un muro de ladrillos refractarios, llamado altar, el cual impide que se caiga el carbón y eleva las llamas acercándolas a la caldera.

Estas calderas se componen de un cilindro de planchas de acero con fondos combados. En la parte central superior se instala una cúpula cilíndrica llamada domo, donde se encuentra el vapor más seco de la caldera que se conduce por cañerías a las máquinas. Las planchas de las calderas, así como los fondos y el domo se unen por remachadora.

Calderas con hervidores

Los hervidores son tubos que se montan bajo el cuerpo cilíndrico principal, de unos 12 metros de largo por 1.50 metros de diámetro; estos hervidores están unidos a este cilindro por medio de varios tubos adecuados. Los gases del hogar calientan a los hervidores al ir hacia adelante por ambos lados del cuerpo cilíndrico superior. Estas calderas surgieron bajo la necesidad de producir mayor cantidad de vapor.

Las ventajas de estas calderas, a comparación de las otras, son por la mayor superficie de calefacción o de caldeo, sin aumento de volumen de agua, lo que aumenta la producción de vapor. Su instalación, construcción y reparación es sencilla. Los hervidores pueden cambiarse o repararse una vez dañados.

La diferencia de dilatación entre la caldera y los hervidores pueden provocar escape de vapor en los flanches de los tubos de unión y, a veces, la ruptura, esta es una de las desventajas de esta caldera.

Calderas de hogar interior

Las calderas de hogar interior están formadas por un cuerpo cilíndrico principal de fondos planos o convexos, conteniendo en su interior uno o dos grandes tubos sumergidos en agua, en cuya parte anterior se instala el hogar. El montaje se hace en mampostería, sobre soportes de hierro fundido, dejando un canal para que los humos calienten a la caldera por el interior en su recorrido hacia atrás, donde se conducen por otro canal a la chimenea.

Con respecto a su instalación, se puede hacer por medio de dos conductos en la parte baja, para que los humos efectúen un triple recorrido hacia adelante por los tubos hogares, atrás por un conducto lateral, adelante por el segundo conducto y finalmente a la chimenea. Los tubos hogares se construyen generalmente de plantas onduladas, para aumentar la superficie de calefacción y resistencia al aplastamiento.

Caldera semitubular

La caldera semitubular se compone de un cilindro mayor de fondos planos, que lleva a lo largo un haz de tubos de 3" a 4" de diámetro. Los tubos

se colocan expandidos en los fondos de la caldera, mediante herramientas especiales; se sitúan diagonalmente para facilitar su limpieza interior. Más arriba de los tubos se colocan algunos pernos o tirantes para impedir la deformación y ruptura de los fondos, por las continuas deformaciones debido a presión del vapor, que en la zona de los tubos estos sirven de tirantes.

Para la instalación de la caldera se hace una base firme de concreto, de acuerdo al peso de ella y el agua que contiene. Sobre la base se coloca la mampostería de ladrillos refractarios ubicados convenientemente el hogar y conductos de humos. La caldera misma se mantiene suspendida en marcos de hierro T, o bien se monta sobre soporte de hierro fundido. Estas calderas tienen mayor superficie de calefacción.

Caldera locomotora

La caldera de locomotora se compone de su hogar rectangular, llamada caja de fuego, seguido de un haz tubular que termina en la caja de humo. El nivel del agua queda sobre el ciclo del hogar, de tal manera que éste y los tubos quedan siempre bañados de agua. Para evitar las deformaciones de las paredes planas del hogar, se dispone de una serie de estayes y tirantes, que se colocan atornillados y remachados o soldados a ambas planchas.

Los tubos se fijan por expandidores a las dos placas tubulares y se pueden extraer por la caja de humo, cuando sea necesario reemplazarlos. Las calderas locomotoras se hacen de chimenea muy corta, las que producen pequeños tirajes naturales.

Calderas de galloway

Son calderas de uno o dos tubos hogares, como la cornualles, provistas de tubos Galloway. Estos tubos son cónicos y se colocan inclinados en distintos sentidos, de tal manera que atraviesan el tubo hogar. Los tubos Galloway reciben el calor de los gases por su superficie exterior, aumentando la superficie total de calefacción de la caldera.

Calderas locomóviles

Las calderas locomóviles se emplean frecuentemente en faenas agrícolas. La caldera puede ser de hogar rectangular, como la locomotora, o cilíndrico. La máquina se monta sobre la caldera, y puede ser de uno o dos cilindros. Todo el conjunto se monta sobre ruedas y mazos para el traslado a tiro. Estas calderas tienen también tiraje forzado de igual forma que las locomotoras. Deberán estar provistas, además, de llave de extracción de fondo, tapón fusible, válvula de seguridad, manómetro, entre otros, accesorios indispensables para el estricto control y seguridad de la caldera.

Calderas marinas

Las calderas marinas son empleadas por los buques a vapor. Entre las primeras se emplean frecuentemente las llamadas "calderas de llama de retorno" o "calderas suecas". Este tipo de calderas consta de un cilindro exterior de 2 a 4.5 metros de diámetro y de una longitud igual o ligeramente menor. En la parte inferior van dos o tres y hasta cuatro tubos hogares, que terminan en la caja de fuego, rodeado totalmente de agua.

Los gases de la combustión se juntan en la caja de fuego, donde terminan de arder y retoman, hacia atrás por los tubos de humo, situados más arriba de los hogares. Finalmente los gases quemados pasan a la caja de humo y se dirigen a la chimenea.

Semifijas

En algunas plantas eléctricas, aserraderos, molinos, etc., se emplea el conjunto de caldera y máquina vapor que recibe el nombre de "semifija". La caldera se compone de un cilindro mayor, donde se introduce el conjunto de hogar cilíndrico y haz de tubos, apertado y empaquetados en los fondos planos del cilindro exterior. El hogar y el haz de tubos quedan descentrados hacia abajo, para dejar mayor volumen a la cámara de vapor. Todo este conjunto se puede extraer hacia el lado del hogar, para efectuar reparaciones o limpieza.

El emparrillado descansa al fondo en un soporte angular, llamado "puente de fuego" y tiene también varios soportes transversales ajustables. El hogar se cierra por el frente por una placa de fundición, revestida interiormente de material refractario, donde va también la puerta del hogar y cenicero. El vapor sale por el domo de la caldera, pasa por el serpentín recalentador, se recalienta y sigue a la máquina.

Calderas combinadas

Las construidas con más frecuencia son las calderas de hogar interior y semitubular. En la parte inferior hay una caldera cornualles de dos o tres tubos hogares o una Galloway, combinada con una semi tubular que se sitúa más arriba. Ambas calderas tienen unidas sus cámaras de agua y de vapor, por tubos verticales.

Los hogares se encuentran en la caldera inferior. Los gases quemados se dirigen hacia adelante, suben y atraviesan los tubos de la caldera superior, rodean después a esta caldera por la parte exterior, bajan y rodean a la inferior, pasando finalmente a la chimenea.

El agua de alimentación se entrega a la caldera superior y una vez conseguido el nivel normal de ésta, rebalsa por el tubo vertical interior a la cámara de agua de la cámara inferior. Ambas calderas están provistas de tubos niveles propios. El vapor sube por el tubo vertical exterior, se junta con el que produce la caldera superior y del domo sale al consumo.

1.3 Utilización del vapor

El uso de vapor como fluido termodinámico se justifica por gran variedad de propiedades, en particular:

- a. Es abundante y barato de producir.
- b. Transporta gran cantidad de energía por unidad de masa debido al cambio de fase. En efecto, el calor latente de cambio de fase es del orden de 2,500 kJ / kg.

El vapor se divide en ciclos abiertos y cerrados. El ciclo opera de la siguiente forma: un depósito contiene agua para la caldera (1). La bomba toma el agua del depósito y la inyecta a la caldera (2) (aumentando su presión desde la presión atmosférica hasta la presión de la caldera). Luego se expande en la máquina (motor) generando trabajo y es expulsado al manifold y posteriormente a las tuberías.

El vapor es una sustancia en estado gaseoso, los términos de vapor y gas son intercambiables, aunque en la práctica se emplea la palabra vapor para referirse al de una sustancia que normalmente se encuentra en estado líquido o sólido, como por ejemplo agua, benceno o yodo. Se ha propuesto restringir el uso del término a las sustancias gaseosas que se encuentren por debajo de su punto crítico (la máxima temperatura a la que se puede licuar aplicando una presión suficiente) y hablar de gas por encima de la temperatura crítica, cuando es imposible que la sustancia exista en estado líquido o sólido.

Esencialmente, el uso de los términos es arbitrario, porque todas las sustancias gaseosas tienen un comportamiento similar por debajo y por encima del punto crítico.

Cuando se calienta un líquido hasta la temperatura en la que la presión de vapor se hace igual a la presión total que existe sobre el líquido, se produce la ebullición. En el punto de ebullición, al que corresponde una única presión para cada temperatura, el vapor en equilibrio con el líquido se conoce como vapor saturado; es el caso, por ejemplo, del vapor de agua a 100 °C y a una presión de 1 atmósfera. El vapor a una temperatura superior al punto de ebullición se denomina vapor sobrecalentado, y se condensa parcialmente si se disminuye la temperatura a presión constante.

Las Industrias están conscientes que la solución apropiada a los distintos problemas en planta y el aprovechamiento máximo de la energía no radica solo en la compra de un equipo o bien de realizar modificaciones o instalaciones nuevas en planta, sino, se necesita el vapor que es tan importante en la industria, por otra parte, las labores cotidianas de mantenimiento en cualquier empresa, obliga a responder de forma inmediata a dar solución a los problemas.

Muchas veces esta solución no es la más acertada, debido a múltiples razones entre el desconocimiento del sistema. Por su puesto, el mejor aprovechamiento de la energía se consigue cuando se selecciona correctamente el sistema de distribución de vapor y los accesorios que en este se encuentran, es el caso de las tuberías, aislamientos térmicos, válvulas reguladoras entre otras.

Cuando se confina el vapor emitido por una sustancia a cualquier temperatura, ejerce una presión conocida como presión de vapor, debido a esto se recomienda:

- a. Producir el máximo de vapor del sistema proceso-calor de desperdicio-recuperadores de calor. Utilizar el calor de desperdicio para precalentar el agua de alimentación de la caldera.
- b. Aplicar vapor al proceso que utiliza los niveles más bajos posibles de presión y temperatura.
- c. Expandir el vapor desde un nivel alto de presión a un nivel bajo utilizando los medios mas eficientes posibles.

1.4 Clasificación de calderas

Las Calderas o Generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. Los equipos generadores de vapor o dispositivo utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la presión atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor. Los generadores de vapor se clasifican de la siguiente manera:

1.4.1 Por la disposición de fluidos

Por la disposición de fluidos las calderas son:

Calderas Pirotubulares

Las calderas pirotubulares son de disposición horizontal, tres pasos de gases y cámara posterior de inversión totalmente refrigerada por agua. Los hogares son de baja carga térmica y amplias dimensiones para facilitar el cumplimiento de la normativa medio ambiental. Están desplazados del eje vertical de la caldera para mejorar la circulación del agua y, al mismo tiempo, permitir una optimización en el reparto de superficies de calefacción y volúmenes de agua y vapor, obteniendo flujos equilibrados y baja carga volumétrica.

La producción de vapor según los modelos varía de 200 a 30,000 kg/h. El rango de potencia térmica oscila entre 140 y 21,150 kW, la superficie de calefacción entre 11,1 y 364,3 m², el volumen de agua entre 0,93 y 37,8 m³, el volumen de vapor entre 0.20 y 6.5 m³. El peso de los distintos modelos varía entre 1,700 y 57,800 kg. A continuación se presentan algunas ventajas.

- a. Menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño.
- b. Mayor flexibilidad de operación.
- c. Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.
- d. Son pequeñas y eficientes.
- e. Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- f. No son empleables para altas presiones.

Calderas Acuotubulares

Las calderas acuotubulares (el agua está dentro de los tubos) eran usadas en centrales eléctricas y otras instalaciones industriales, logrando con un menor diámetro y dimensiones totales una presión de trabajo mayor, para accionar las máquinas a vapor de principios de siglo.

En estas calderas, los tubos longitudinales interiores se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinados para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja. Originalmente estaban diseñadas para quemar combustible sólido.

La producción del vapor de agua depende de la correspondencia que exista entre dos de las características fundamentales del estado gaseoso, que son la presión y la temperatura. A cualquier temperatura, por baja que esta sea, se puede vaporizar agua, con tal que se disminuya convenientemente la presión a que se encuentre sometido dicho líquido, y también a cualquier presión puede ser vaporizada el agua, con tal que se aumente convenientemente su temperatura.

Según el tamaño de la caldera llevará uno o dos quemadores, con sus correspondientes rampas de combustible y maniobra eléctrica independiente, teniendo la maniobra de control de potencia de llama, tipo cascada para aprovechar al máximo las inercias térmicas. Estas calderas por su configuración y diseño, pueden alcanzar los 45 Kg/cm².

1.4.2 Por su configuración

Por su configuración las calderas pueden ser:

- a. Vertical
- b. Horizontal

Calderas verticales

Las calderas verticales se utilizan, en general, para alimentar máquinas de pequeña potencia y donde el espacio en planta es reducido. Se construyen con presiones máximas de 15 kg/cm^2 . El inconveniente de esta disposición es el recalentamiento de la placa tubular superior y de la parte de los tubos, produciéndose fugas de vapor en la unión de estos últimos con esa placa. A continuación se describe algunas ventajas:

- a. Costo relativamente bajo.
- b. Puesta en marcha rápida.
- c. Ocupa poco espacio.
- d. Se transporta fácilmente.
- e. No requiere mampostería.
- f. Como los tubos son todos iguales, basta tener en el depósito una medida.

También se describen algunos Inconvenientes:

- a. Circulación lenta y defectuosa.
- b. La superficie libre de evacuación es pequeña.
- c. Cuando se pretende forzar la producción de vapor se deteriora la placa tubular inferior.

- d. Como su contenido de agua es pequeño, en relación con la producción de vapor, debe conducírsela con cuidado para evitar explosiones.
- e. La extracción de los barros, que se depositan en la doble pared que rodea al hogar, es dificultosa.

Calderas horizontales

La mayoría de éstas calderas se construyen para suministrar vapor saturado, pero en algunos casos se usa para generar vapor sobrecalentado, con el correspondiente sobrecalentador. Se usa en plantas de calefacción para grandes edificios y fábricas y para la producción de vapor para procesos y generación de energía en pequeñas plantas industriales.

Su capacidad es de 450 hasta 7000 kg de vapor por hora con presiones de hasta 17 kg/cm^2 y alrededor de $85 \text{ }^\circ\text{C}$ de sobrecalentamiento. La vaporización específica es de hasta $33 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$. El diámetro máximo de éstas calderas es de 2500 mm y 19 mm ($3/4$ ") el espesor máximo de chapa mientras que el diámetro de los tubos varía entre 10 y 50 mm.

Este tipo de calderas, por su paso reducido y su aptitud para resistir las vibraciones se empleó principalmente para locomotoras y en las locomóviles. Las calderas de las locomotoras se proveen de un domo en el que se aumenta el volumen de la cámara de vapor, y al instalar en él la toma de vapor, esta se encuentra más alejada del nivel del agua, obteniéndose así vapor más seco. A continuación se describen algunas ventajas:

- a. Son de construcción compacta, por lo cual se adapta a las instalaciones móviles.

- b. Ausencia casi completa de mano de obra de mampostería que reduce el costo de instalación y facilita el transporte.
- c. El cambio de tubos no ofrece dificultades.
- d. Habiendo sólo dos medidas de tubos no resulta difícil que el depósito tenga su respectiva reserva.
- e. Razonablemente económica.

También se describe algunos inconvenientes:

- a. Circulación deficiente del agua.
- b. Muchas partes difíciles de limpiar, provocándose corrosiones.
- c. Se adapta difícilmente al cambio de combustible.
- d. En ciertas condiciones las chapas de la caja de fuego, se doblan por la acción del calor.
- e. La presión está limitada por su construcción misma (paredes planas).
- f. No pueden soportar cargas elevadas sin que las chapas se recalienten.

1.4.3 Por el mecanismo de transmisión de calor

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura. Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable.

Por lo general, en las calderas pequeñas empleadas para la calefacción doméstica, la presión máxima de operación es de 1.06 (kg/m²). En el caso del agua caliente, esta es igual a 232 °C. Las calderas grandes se diseñan para diferentes presiones y temperaturas, con base en la aplicación dentro del ciclo del calor para la cual se diseña la unidad.

1.5 Elementos de la caldera

Las calderas de vapor, constan básicamente de 2 partes principales:

- a. La cámara de agua
- b. La cámara de vapor

1.5.1 Cámara de agua

Comprende el cuerpo de la caldera herméticamente sellado que aloja el agua necesaria para la generación de vapor a un nivel determinado. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 centímetros por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.

1.5.2 Cámara de vapor

Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de ésta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

Adicionalmente las calderas tienen dentro de su configuración gran cantidad de elementos en cuanto a operación y control. Adicionalmente un sistema de generación de vapor tiene:

- a. Válvulas de seguridad
- b. Válvulas reguladoras de flujo

- c. Bomba de alimentación
- d. Tanque de condensados
- e. Trampas de vapor
- f. Redes de distribución
- g. Equipos consumidores
- h. Sistemas de recuperación de calor

1.6 Trampas de vapor

Las trampas de vapor son equipos auxiliares en líneas o equipos de calentamiento con vapor, la función principal consiste en drenar el condensado que se forma de la condensación del vapor en sistemas de calentamiento, sin permitir la fuga de vapor, para así asegurar que la temperatura deseada del proceso no varíe. Adicionalmente una buena trampa debe de ser capaz de descargar el aire y gases no condensables atrapados en el sistema.

Las trampas de vapor son de mucha importancia, uno de sus atributos es el de economizar grandes cantidades del combustible requerido para calentar las inmensas cantidades de agua lo que conlleva a un ahorro en los costos de operación.

Tan pronto como el vapor deja la caldera empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie de menor temperatura. Al hacer esto, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura. La combinación de agua y vapor hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor.

1.6.1 Importancia de las trampas en la distribución de vapor

Una trampa para vapor es un dispositivo que permite eliminar condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor. Sus importantes funciones se describen a continuación:

A. Eliminación de condensado

El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa para vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.

B. Eliminación de aire y otros gases no condensables

El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O₂ y el CO₂ causa corrosión.

C. Prevención de pérdidas de vapor

No deben permitir el paso de vapor sino hasta que éste ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

1.6.2 Tipos de trampas de vapor

Luego de tener clara la definición y función de trampa de vapor, analizaremos los diferentes grupos existentes:

- a. Termostática
- b. Mecánica
- c. Termodinámica

1.6.2.1 Termostática

Este tipo de trampas operan mediante un sensor de temperatura, el que identifica la temperatura del vapor y del condensado. Como el vapor se condensa adquiere una temperatura menor a la del vapor, cuando ésta temperatura del condensado llega a un valor específico, la trampa abrirá para drenar el condensado. Entre algunas de este tipo tenemos:

Trampa de presión balanceada

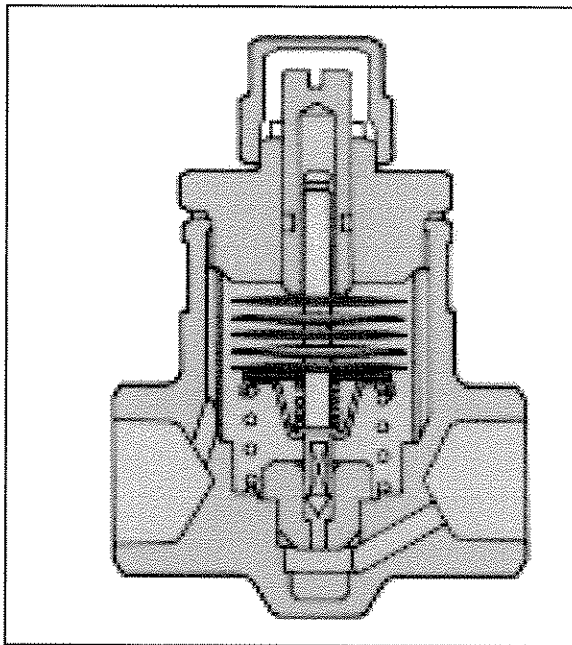
Este tipo de trampa posee un termostato que en su interior esta lleno de una mezcla de alcohol, que siente la temperatura del condensado y el vapor. Cuando el cuerpo de la trampa está lleno de condensado, la mezcla está a una temperatura baja, en comparación con el vapor, debido a esto el alcohol no ejerce presión dentro del tubo corrugado en el que se encuentra, dejando salir el condensado a través por el canal de salida.

Cuando el vapor entra al cuerpo de la trampa es tal la temperatura de éste, que la mezcla de alcohol comienza a hervir, causando un aumento en la presión del interior del elemento. Esta presión es superior a la que se encuentra en el cuerpo de la trampa con lo que tendremos una expansión del elemento termostático, causando el cierre de la válvula.

Una vez que la válvula se ha cerrado, el vapor no puede escapar. Entonces éste vapor nuevamente se condensará y también se enfriará, con lo

que también enfriará la mezcla de alcohol en el elemento. Con esto la presión del elemento disminuirá causando que la válvula se abra, descargando el condensado. Como se ha determinado, cuando mayor es la presión ejercida por el vapor, mayor será la presión en el elemento termostático que cause el cierre. A continuación se presenta la figura de una trampa de presión balanceada.

Figura 1. Trampa termostática de presión balanceada



FUENTE: www.armstrong.intl.com

Las trampas termostáticas de presión balanceada son de pequeño tamaño, con una gran capacidad de descarga. Además, para variaciones de presión se ajusta automáticamente dentro del rango de trabajo para el que se halla elegido. En la mayoría de este tipo de trampas no se puede trabajar con vapor sobrecalentado debido a que el exceso en la temperatura en el interior del elemento origina una presión tan alta que no puede ser balanceada por la presión a su alrededor.

Trampa tipo bimetálico

El funcionamiento de esta trampa es simple, al igual que las anteriores, pero antes de entrar en lo que es el funcionamiento tal de la trampa, veremos lo que es llamado bimetálico.

Se le llama bimetálico a la unión de dos láminas delgadas de metales distintos, los que al haber una variación de temperatura se dilatan cantidades distintas. Entonces el funcionamiento de las trampas bimetálicas es el siguiente: la trampa está abierta en su totalidad en el arranque, donde descargará el aire y el condensado que se encuentre al interior del cuerpo ya que la temperatura de éste es menor que la del condensado.

Cuando comience a venir vapor, la placa bimetálica, donde uno de sus extremos permanece fija y al otro se le une una válvula, reaccionará al cambio de temperatura, dilatándose, para así cerrar el orificio de salida por medio de la válvula.

Por otro lado, la presión de vapor dentro de la trampa actúa para mantener cerrada la válvula, por lo que para que el bimetálico regrese a su posición de descarga es necesario que el condensado se enfríe considerablemente, lo que a fin de cuentas es una reacción lenta frente a los cambios de temperatura. Estas trampas son ligeras, de pequeños tamaños, y con gran capacidad de descarga. Además son resistentes a fluidos corrosivos, presiones de vapor elevadas y vapor sobrecalentado.

1.6.2.2 Mecánica

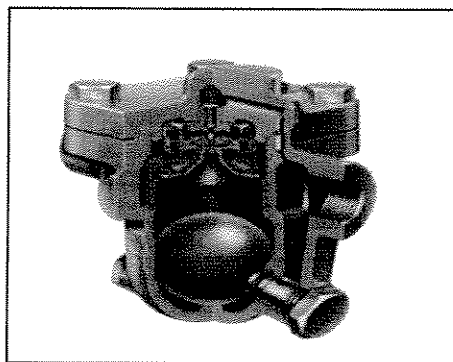
Este tipo de trampas de vapor trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas trabajan mediante un flotador, el cual hace de válvula, en la que, cuando se acumula condensado ésta se abre descargándolo. Cuando está cerrada, comienza nuevamente el ciclo llenándose de vapor para luego comenzar nuevamente. Entre las trampas de este tipo tenemos:

Trampa de flotador libre

Las trampas de flotador libre constan de una esfera hueca (flotador), en la que al ingresar el flujo de vapor, ésta se mantiene apoyada en un asiento. Cuando el vapor comienza a condensar, el nivel de agua hace subir a la esfera dejando libre el orificio de drenaje.

Cuando el condensado disminuye, la esfera, que hace de válvula, retorna paulatinamente a su posición (en el asiento), tapando el orificio de salida causando así la mínima pérdida de vapor. Luego, el nuevo ciclo hará lo mismo, así que entonces el drenado es continuo. En la figura se aprecia una trampa de de vapor flotador libre

Figura 2. Trampa de flotador libre



FUENTE: www.armstrong.intl.com

Debido a que estas trampas no poseen partes mecánicas es muy poco probable que falle, lo que nos dice que el mantenimiento es prácticamente cero. De las figuras se puede apreciar que la esfera flotadora es bastante grande en comparación con el orificio de drenaje, lo cual hace que sea difícil tener un buen asiento.

Trampa de flotador y palanca

La trampa de flotador y palanca es muy parecida al mencionado anteriormente, donde entra el vapor al cuerpo de la trampa y al comenzar a condensar hace subir una esfera flotante; la diferencia con el anterior es que ahora la esfera está conectada a una palanca, la que a su vez está conectada con la válvula de salida o drenaje.

En el momento que el nivel del condensado empieza a subir también lo hace la válvula de salida, la que gradualmente descargará el condensado. Al igual que la trampa de flotador libre ésta mantiene una descarga continua del condensado. Una vez terminada la descarga, el flotador baja y nuevamente se acomoda sobre un asiento, impidiendo así el escape del vapor.

El inconveniente de la trampa de flotador y palanca, al igual que la trampa de flotador libre es que en ambas el aire que se mantiene dentro de la trampa no puede salir por la válvula de drenaje, por esto a veces se instala una válvula de escape del aire y gases no condensables en la parte superior de la trampa.

Las ventajas de este tipo de trampa tenemos que el drenado puede ir del mínimo al máximo de condensado con igual eficiencia sin verse afectado por los grandes cambios de presión. Existe una variedad de ésta trampa, en vez de

llevar una válvula manual que descargue el aire y gas no condensable posee una válvula automática (eliminador termostático de aire), la cual posee un elemento termostático que se dilata o contrae según la temperatura del fluido; se dilata y cierra el orificio de salida cuando el vapor llega, y se contrae y abre una vez que se ha producido el condensado. Luego cuando tenga aire nuevamente, éste se ira a la parte superior y automáticamente se descargará.

Trampas de balde

Este tipo de trampa no posee la esfera flotadora, sino que es un balde el que hace de válvula. Este tipo de trampa tiene 2 variantes que son:

- a. Trampa de balde abierta
- b. Trampa de balde invertido.

Trampa de balde abierta

Las trampas de balde abiertas tienen ese nombre ya que el tipo de balde está dentro del cuerpo de la trampa, con su parte abierta hacia arriba. Este balde flotará con el condensado cuando permanezca vacío, pero caerá por su peso cuando esté lleno de condensado.

Cuando haya entrado el flujo de condensado, éste poco a poco irá llenando el espacio bajo el balde, con esto el balde comenzará a subir y la válvula se cerrará. Como aumenta el nivel de condensado éste comenzará a llenar el interior del balde, que debido al peso, tenderá a bajar, abriendo la válvula. Así mismo la presión ejercida por el vapor empujará el condensado por la guía de la varilla de la válvula, descargando el condensado hasta que nuevamente el balde pueda flotar.

Este es un tipo de trampa que no genera mayores problemas de mantenimiento debido a que posee un mecanismo simple pero a causa de que posee un ciclo intermitente de descarga es más probable que sufra los efectos de la corrosión.

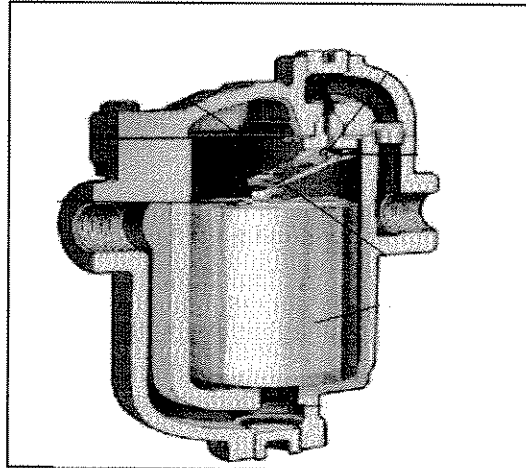
Además como no posee un sistema de descarga de aire y gases no condensables, solo podemos hacerlo manualmente o bien con un sistema termostático. Estas trampas son pesadas y de gran tamaño en relación con su capacidad de descarga, esto es debido a que por el hecho de trabajar en función de la presión ejercida sobre el agua dependen de la sección que posea el balde.

Trampa de balde invertido

Este tipo de trampa posee en su interior un balde cuya abertura está hacia abajo, o sea, de balde invertido. El sistema de funcionamiento resulta simple. El vapor que entra mantiene al balde flotando, si se puede decir así, y mientras flote, éste mantendrá cerrada la válvula de salida.

Cuando comienza a condensar, el interior de la trampa se va llenando del condensado, el que mandará al fondo al balde, causando que la válvula se abra, lo que junto con la presión ejercida por el vapor dentro del balde, descargara el exceso de condensado. En la siguiente página se muestra la figura de una trampa de balde invertido.

Figura 3. Trampa de vapor de balde invertido



FUENTE: www.armstrong.intl.com

El orificio de escape de aire, es pequeño lo que hace que el aire salga lentamente, tampoco puede ser grande porque ocasionará pérdidas de vapor. Por este motivo es que puede ser una desventaja ya que al mantener mayor tiempo el aire, corroerá la trampa. En este tipo de trampa como en el de balde abierto, se debe mantener condensado en el fondo, ya que éste hace la función de sello. Si éste sello se pierde, podría ser a causa de una pérdida de presión del vapor, ocasionará el paso del vapor libremente por la válvula.

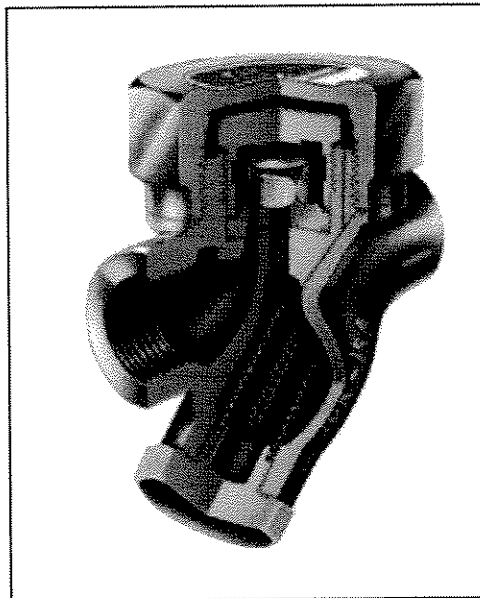
1.6.2.3 Termodinámica

Las trampas termodinámicas operan con el principio de diferencia entre flujo de vapor sobre la superficie comparado con el flujo del condensado. Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como

válvula se cierra, y éste disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado.

Tiene un funcionamiento relativamente simple, ya que en su interior solo poseen una sola pieza en movimiento, un disco flotante. A continuación se presenta la figura de una trampa termodinámica.

Figura 4. Trampa termodinámica



FUENTE: www.armstrong.intl.com

Al principio, la presión del condensado y o aire levanta el disco de su asiento. El flujo es radial debajo del disco, hacia la salida. La descarga prosigue hasta que el condensado se acerca a la temperatura del vapor. Un chorro de vapor flash reduce la presión debajo del disco y al mismo tiempo por recompresión, origina presión en la cámara de control encima del disco, esto empuja a este último contra su asiento, asegurando un cierre perfecto, sin pérdida de vapor.

Inmediatamente, al acumularse condensado, se reduce el calor en la cámara de control, conforme se va condensando el vapor bloqueado en la cámara la presión se reduce. El disco es levantado por la presión de entrada y se descarga el condensado.

Estas trampas tienen una gran cantidad de descarga en comparación con su tamaño, ya que son ligeras, simples y compactas. Además debido a que la única parte en movimiento es el disco, es posible hacer un mantenimiento fácil.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Descripción del sistema actual

Las tuberías del sistema de vapor de la empresa se encuentran en regular estado, ya que carece de mantenimiento preventivo y correctivo, la distribución de vapor se realiza a través de un mániful, y los servicios de vapor son específicamente para la calcinación de la piedra caliza y para la hidratación de la cal.

Al observar el sistema completo de estos servicios, se detectaron las siguientes fallas:

- a. Seis fugas de vapor en el sistema
- b. La tubería que transporta el vapor, en partes, no tiene aislamiento térmico
- c. El aislamiento térmico que cubre parte de la tubería que transporta el vapor, se encuentra dañado.

Las tuberías deben estar correctamente aisladas con el fin de prever la pérdida de calor, no obstante parte del calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua (agua caliente) y a depositarse en el fondo de la misma. Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

El transporte de vapor se hace generalmente por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, que es una clase de equipo térmico, y luego desde éste hasta la caldera pero con un menor contenido energético. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

Por otro lado, en los sistemas de distribución de vapor, también se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía que a su vez implican mayor consumo de combustible en la caldera para compensar dichas pérdidas.

En un sistema de generación-distribución en conjunto, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como del 30% de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera (sistema de vapor), en lugar de un 70% como podría ser en el caso de un sistema optimizado.

La ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión.

Cuando se efectuó la visita técnica, se detectaron fallas en el sistema de tuberías por falta de una evaluación permanente, las averías y deterioro del sistema se encuentran específicamente en:

- a. Fugas de vapor
- a. Falta de aislamiento térmico
- b. Aislamiento térmico muy antiguo
- c. Aislamiento térmico dañado

Cuando existe una buena evaluación del sistema de tuberías se prevén pérdidas de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua y a depositarse en el fondo de la misma. Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería el ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

En la evaluación del sistema de tuberías se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones específicas:

- a. Inspeccionar las tuberías y accesorios del sistema.
 - i. Fugas
 - ii. Corrosión
 - iii. Falta de aislamiento térmico
- b. Inspeccionar el aislamiento térmico:
 - i. Humedad
 - ii. Espesor adecuado
 - iii. Tipo de Material

Cuidar el sistema de distribución de vapor proporciona una de las mejores oportunidades de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña o casi nula. Dar entrenamiento cuidadosamente completo y a la vez apropiado al equipo de mantenimiento siempre será una buena inversión.

En un sistema de distribución descuidado siempre se encuentran fugas en las tuberías, en válvulas, en los equipos de proceso, en las trampas de vapor, en las bridas o conexiones especiales.

Arreglar o quitar fugas es una oportunidad de ahorrar energía y dinero, además, esto es muy simple y el costo es muy bajo y muchas veces el hacerlo no cuesta nada.

Cuando no se tiene un programa de mantenimiento para las trampas de vapor, es común encontrar en la instalación de 15 a 20 por ciento de las trampas funcionando inadecuadamente todo el tiempo.

Instalaciones Industriales auditadas bajo el programa del Centro de Asistencia Industrial del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE), han demostrado un rango de ahorros potenciales desde 3 por ciento hasta valores tan altos como 13 por ciento del total de gas natural utilizado en promedio. Al instalar aislamientos, una planta pudo dejar de consumir aproximadamente 6,000 lb/hr y pudo bajar la cantidad de combustible utilizado, redujo las emisiones de CO₂ en un 6 por ciento y logro recuperar la inversión en 6 meses.

Debido a la importancia que reviste la generación de vapor para los procesos industriales, se espera que sea de utilidad para utilizar en forma eficiente la energía, lo cual hará reducir los consumos y, por ende, aumentar la competitividad de los negocios.

2.1.1 Chimenea

La chimenea se encuentra en buen estado, esta funciona como un termómetro a la salida de los gases, la cual está enclavado directamente con el quemador para desactivarlo cuando la temperatura supera el set point indicado. Esta elevada temperatura puede originarse por falta de agua, hollinamiento e incrustaciones al lado del agua, entre otros.

2.1.2 Válvulas

En las válvulas se encuentran varias fugas, esto se debe a la falta de mantenimiento. Estas se accionan a determinada presión de trabajo, desalojando cierta cantidad de vapor. Debe ser manipulada solo por personal autorizado, y contener los sellos de seguridad luego de manipulada.

Figura 5. Fotografía de la válvula del sistema de vapor

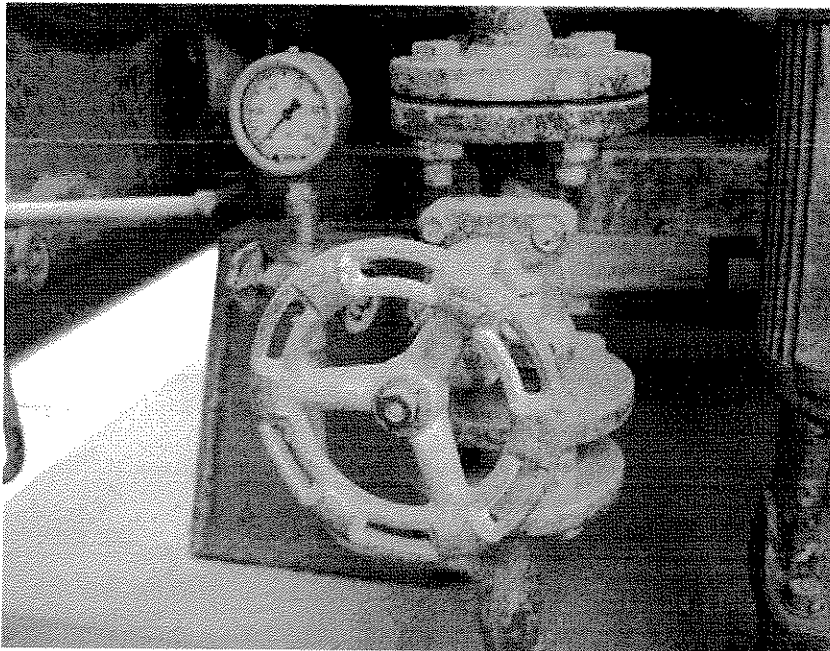


Foto: Proyecto

2.1.3 Fugas

Un problema de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor.

Dicho problema adolece de una serie de características que lo hacen especialmente grave, en el caso de las calderas destinadas se encuentran los diversos suministradores, implica la necesidad de un nivel de disponibilidad lo más alto posible, resultando de un gran perjuicio económico cualquier necesidad no programada de parada de las mismas.

Generalmente las pérdidas de vapor que existen en un sistema de tuberías se deben a que no existe un programa de mantenimiento formal. Por un lado, el problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil, la predicción precisa del mismo.

Los fenómenos de corrosión y degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos, sin embargo no existen datos suficientes de todos los elementos instalados en una caldera, y menos de sus defectos ocultos de fabricación, como para establecer un modelo matemático que permitiese predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga.

Como máximo se puede decir que cuantos más días se lleva sin la manifestación de una fuga, más alta será la probabilidad de que dicha fuga pudiese aparecer. Una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras, no se puede dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al

punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

La empresa cuenta con una caldera pirotubular que fue instalada en 1990, tiene un funcionamiento de combustión a base de bunker, estas podrían funcionar con diesel pero tendría que cambiarse el diseño de la boquilla. La caldera que actualmente funciona tiene la siguiente característica:

- a. Tipo paquete automática
- b. Marca Cleaver Brooks
- c. Modelo CB 700 – 125
- d. Serie L – 78690
- e. Presión de trabajo 100 Kg. / cm²
- f. Presión máxima 250 Kg. / cm²
- g. Entrada 5230000 Btu / hora
- h. Gasto 35 GPH aceite
- i. 230 voltios = energía de alimentación trifásica
- j. Voltaje de 230 voltios
- k. Fase 60 Hz
- l. Capacidad mínima de circuito 33,5 Amperios
- m. Capacidad máxima de protección del circuito 118 Amperios
- n. Potencia de motor compresor 5 HP
- o. Potencia de motor soplador 5 HP
- p. Potencia del calentador de aceite 5 Kw.
- q. Motor bomba de aceite voltaje 230 voltios de tres fases, dos Amperios

Comúnmente las calderas trabajan desde 50 psi hasta por arriba de las 100 psi. Aún cuando se depende de una gran variedad de factores, las calderas bien reparadas y con un mantenimiento apropiado operan en promedio con eficiencias de entre 70 y 85 por ciento.

Los niveles de eficiencia pueden ser mejorados entre 2 a 5 por ciento con una caldera bien afinada y con la aplicación de equipo auxiliar, siempre y cuando económicamente esto se justifique.

Cuando el sistema de calderas es demasiado viejo para ser reacondicionado se debe de reemplazar con un sistema de calderas mas eficiente tal que ofrezca un incremento en las áreas de intercambio de calor y que tenga controles de combustible, de excesos de aire y controles de las condiciones de carga.

Substancialmente las pérdidas de energía en una caldera son causadas por una combustión incompleta, cuyo calor de desperdicio generado literalmente se va "por la chimenea", y por el calor perdido en la superficie exterior de ésta. Estas dos condiciones juntas, pueden alcanzar hasta un 30% de pérdida del combustible de suministro y por ende la eficiencia se ve disminuida. Las tres estrategias para minimizar las pérdidas de calor en los gases de combustión son:

- a. Minimizar el exceso de aire en la combustión
- b. Mantener limpias las superficies de intercambio de calor
- c. Cuando se justifique, agregar un equipo de recuperación de calor de los gases de combustión. Típicamente, la eficiencia de una caldera se incrementa en un 1.0 por ciento por cada 15 por ciento que se reduce el exceso de aire o por la reducción de 1.3 por ciento de oxígeno o por una reducción de 40°F en la temperatura de los gases de combustión.

Figura 6. Calderas de la empresa

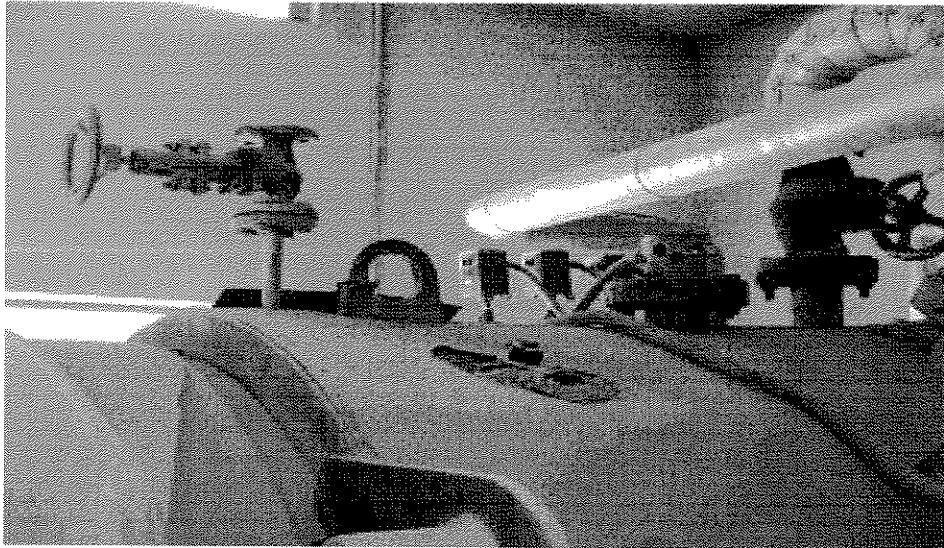


Foto: Proyecto

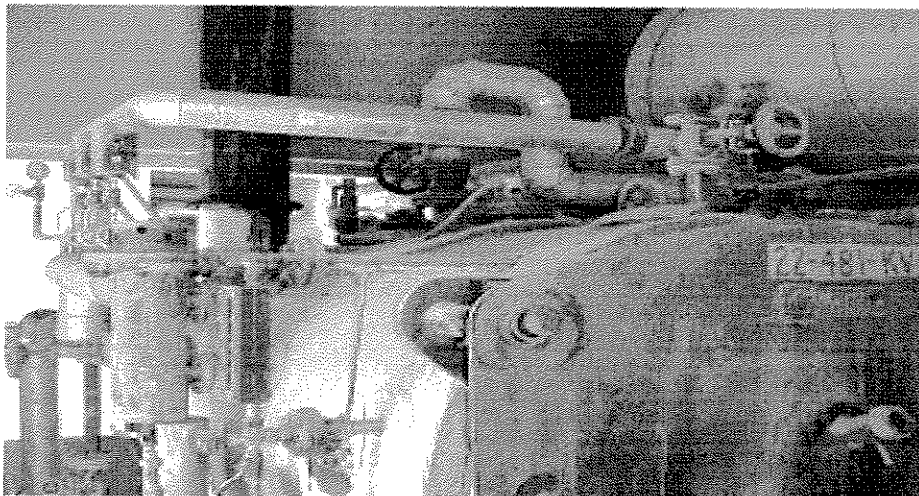


Foto: Proyecto

2.1.5 Equipos consumidores de vapor

El equipo que consume vapor se encuentra instalado en el área de producción y en el área de hidratación. El vapor es la mejor forma de transferir calor a temperatura constante. En la empresa el uso del vapor es específicamente para lo siguiente:

- a. Producción de cal: calcinación de la piedra caliza
- b. Agua Caliente: para la hidratación de la cal.

2.1.6 Descripción de la distribución del vapor

Las tuberías del sistema de vapor, necesitan supervisión, la distribución de vapor se realiza a través de un maníful. Las tuberías deben estar correctamente aisladas con el fin de prever la pérdida de calor, no obstante parte de calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua y a depositarse en el fondo de la misma. Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería el ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

Figura 7. Sistema de distribución de vapor

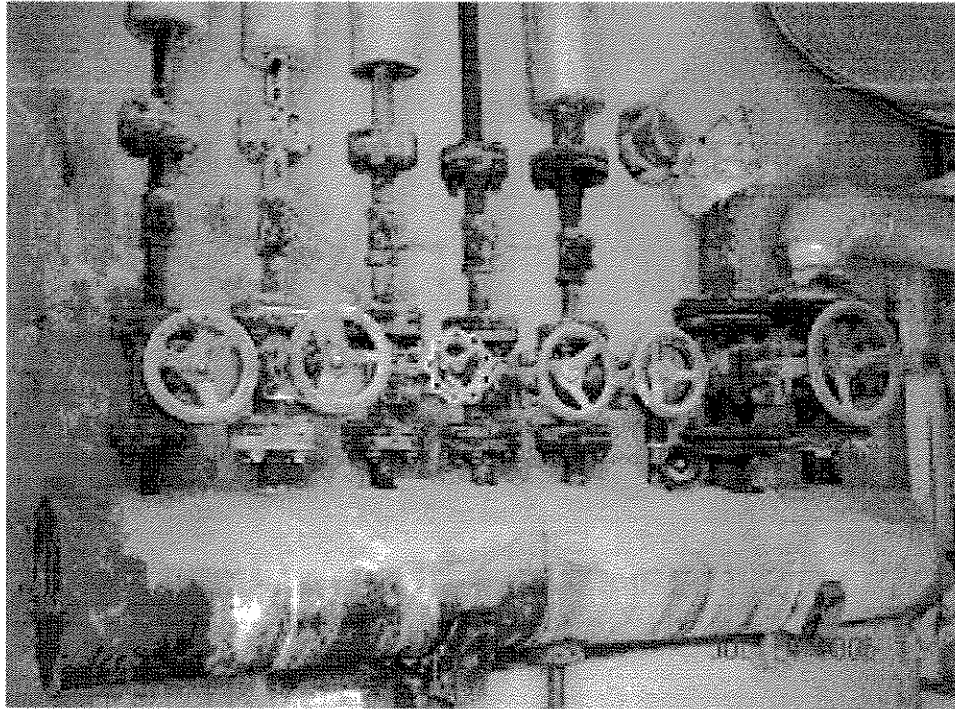


Foto: Proyecto

2.1.6.1 Aislamiento de las tuberías

La pérdida de calor por falta de corrección de fugas y de aislamiento térmico en las tuberías es muy común en los sistemas de vapor existen varias fugas de vapor en todo el sistema.

Tan pronto sea posible, adicional a estas, parte de la tubería que transporta el vapor no tiene aislamiento térmico y el aislamiento térmico que existe se encuentra dañado por el tiempo. Todas estas causas provocan pérdida de calor y aumento de los costos.

El aislamiento térmico de tuberías conductoras de vapor y de equipos con camisas de vapor y accesorios es muy importante para lograr una eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía. Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados, tales como:

- a. Al tener condensados adicionales a los producidos por los intercambiadores, las trampas de vapor deberán desalojarlos teniendo que trabajar más, con mayor desgaste y mayor mantenimiento.
- b. Ocurre mayor desgaste de tuberías por el transporte de condensados.
- c. Riesgo grande de golpes de ariete, principalmente en las tuberías mal drenadas.

A fin de evitar consecuencias se debe corregir las fugas de vapor y aislar térmica y adecuadamente las tuberías y accesorios. Para ello se recomienda algunos tipos de aislantes térmicos los cuales se describen a continuación:

- a. Reflectores o reflectantes: Existen sistemas aislantes que usan pantallas reflectantes para disminuir las pérdidas de radiación (láminas de aluminio brillante).
- b. Porosos (o Esponjosos): La mayoría de los materiales usados como aislantes son porosos, manteniendo aire atrapado en su interior. El aire encerrado en los poros queda casi absolutamente estático; esto ocurre en los materiales con poros cerrados (poliestireno y poliuretano expandido), o con muy poca movilidad en aislante con poros abiertos (lana mineral, cortinas gruesas).

- c. Aire estanco o estático: Es un sistema de construcción que se basa en el mismo principio anterior: el aire quieto es un excelente aislante. Ejemplo: vidrio doble, doble pared, doble puerta, entre otros.

Los aislantes porosos o por aire estático pierden sus propiedades cuando se mojan, ya que el agua es un excelente conductor del calor. En nuestro país los aislantes más comunes en el comercio son los materiales porosos, que se aplican en forma de colchonetas, planchas, granulados, caños premoldeados, ladrillos o bien en forma de una pasta plástica. El uso de estos es de acuerdo a la factibilidad financiera de la administración.

Los criterios que se deben considerar para seleccionar un material aislante son los siguientes:

- a. Precio del aislante y costo de la instalación.
- b. Conductividad térmica.
- c. Resistencia mecánica.
- d. Método de aplicación y forma de la pieza que se aísla.
- e. Rango de temperatura de trabajo (combustibilidad del aislante).
- f. Comprobar si es necesario remover periódicamente el aislante para inspecciones y reparaciones del equipo.
- g. Condiciones ambientales del lugar de operación.

Si el material a lo largo del tiempo se deteriora, pierde su capacidad de retener calor, y por lo tanto se estaría generando una menor cantidad de vapor que al comienzo.

Para eliminar esta situación, se debe corregir las fugas de vapor y cambiar el aislamiento deteriorado por uno adecuado. Como resultado se obtiene un ahorro de combustible en el sistema, ya que se alcanzarán

nuevamente los niveles de disponibilidad de calor para el vapor, pudiendo funcionar en mejor condiciones los equipos accionados por ésta.

Figuran 8 Tuberías con aislamiento deteriorado

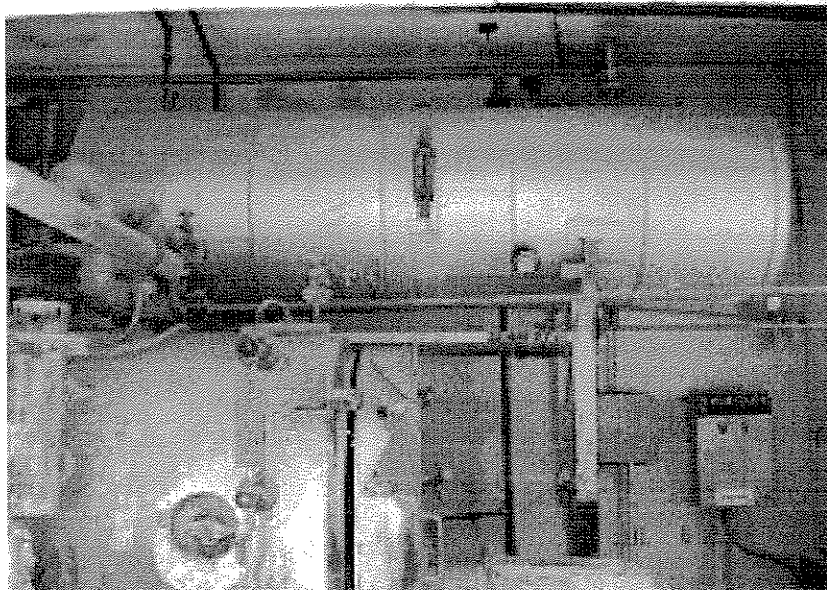


Foto: Proyecto

2.1.6.2 Funcionamiento de las trampas de vapor

Las trampas para vapor, son empleadas para funciones que no son tan aparentes. Cuando el sistema de vapor se interrumpe o apaga, aire ingresa en las tuberías para ocupar el espacio del vapor en compañía con el condensado generado. Las trampas para vapor deben por tanto desalojar ese aire en el momento de arranque de estos sistemas. En resumen, las tres importantes funciones de las trampas para vapor son:

- a. Descargar condensado.
- b. No permitir escape de vapor.
- c. Ser capaces de desalojar aire y gases.

La situación que se debe dar importancia es que sistemáticamente, tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor.

Dicho problema adolece de una serie de características que le hacen especialmente grave en el caso de las calderas destinadas se encuentran los diversos suministradores, implica la necesidad de un nivel de disponibilidad lo más alto posible, resultando de un gran perjuicio económico cualquier necesidad no programada de parada de las mismas.

Ubicación y tipos de trampas de vapor

La ubicación y tipos de trampas de vapor son a menudo elementos vitales para obtener los mejores resultados en las líneas de distribución de vapor,

Para un sistema de trampas, la ubicación de las mismas viene a fortalecerle sistema, para tal caso existen dos categorías:

- a. Procesos
- b. Protección de línea

A. Procesos

En el proceso las trampas drenan el condensado que se forma al utilizarse el vapor. Los procesos comunes son:

- a. Calentamiento de un líquido (marmitas, intercambiadores de concha y tubo)
- b. Calentamiento de un gas (precalentamiento de aire, serpentines de calefacción, secadores entre otros.)
- c. Calentamiento de un sólido (secadores de tambor)
- d. Calentamiento directo de sólidos (autoclaves)

Estas aplicaciones favorecen al sistema ya que se caracterizan por presiones normalmente menores de 125 PSI (0.86 Mpa), las cuales varían debido a la carga fluctuante del proceso. Por la misma razón, las cargas de condensado son también variables, especialmente en los procesos por tandas. En este caso la descarga de aire y de gases no condensables es muy importante y puede implicar volúmenes grandes de estos gases.

La ubicación normal de las trampas en todos estos casos es inferior al nivel del equipo de proceso. Es importante recordar que en el proceso cada equipo tiene su propia trampa, para ello nunca se deben drenar dos equipos con la misma trampa.

B. Protección de líneas

Para este caso existen dos aplicaciones de trampas en lo que a protección de líneas se refiere. La primera es el drenaje de condensados que se forman en las líneas de distribución de vapor debido al enfriamiento.

La segunda aplicación es en las líneas "tracer" o sea líneas de vapor normalmente de media pulgada, que se instalan contiguas a tuberías de distribución de fluidos que se necesitan mantener a cierta temperatura.

En estas aplicaciones, especialmente en drenajes de tuberías principales y ramales de vapor, las presiones encontradas son normalmente más altas que en el proceso y son mucho más constantes. Las cargas de condensados son muy constantes también, con la excepción de acumulación alta de condensado al arrancar un sistema frío. La descarga de aire es importante solamente durante el arranque. Durante la operación del sistema, la carga de condensado es muy baja y no existe necesidad de descargar aire y gases no condensables.

Para la ubicación de trampas en el sistema se recomienda instalarse en cada punto del sistema antes de cada punto principal:

- a. Abajo del punto de drenado siempre que sea posible
 - i. Antes de cada válvula principal
 - ii. Antes de cada elevación de la tubería
 - iii. En cada terminación de un ramal
- b. Accesible para ser inspeccionada y ser reparada

Si no existe ninguna de estas condiciones en un tramo de tubería, se recomienda instalar una trampa entre 50 y 75 metros aproximadamente.

2.1.7 Mantenimiento del sistema

La demanda diaria de energía para la producción de materia prima es cada vez más costosa. Su explosiva demanda requerida para el desarrollo de una sociedad en crecimiento demográfico exponencial, y el agotamiento de

recursos energéticos hace que el control de la operación de las calderas sea diario.

Los programas de control diario ayudan a la conservación de energía ya que se pueden detectar fugas en el sistema que ocasionen una pérdida de la misma. Se ha demostrado que con pequeñas fugas en un sistema de distribución se puede llegar a reducir el consumo energético entre un 15 a 30%, convirtiéndose esta actividad en una de las inversiones más lucrativas tanto para el sector industrial como para el comercial.

Es necesario anotar que el término conservación o ahorro de energía no corresponde al sentido de restricción o racionamiento en el consumo requerido, se refiere sí, a su utilización óptima a través de prácticas de mantenimiento y operación.

A continuación se describen los criterios del departamento de mantenimiento, del control de las calderas:

<http://www.corpodib.com/> - arriba

- a. Conocer el equipo, guardar el manual de mantenimiento del equipo en un archivo especial y asegurarse que esta información pueda ser consultada por el equipo de mantenimiento cuando sea necesario
- b. Mantener un registro de mantenimiento completo. Los componentes individuales de la caldera deben de ser enlistados o colocados en una base de datos especificando el modelo, número de serie y fecha de instalación.
- c. Establecer un calendario de inspecciones reguladas.
- d. Establecer y mantener actualizados los procedimientos de operación descritos. Un procedimiento de arranque detallado es esencial para estandarizar la rutina en el cuarto de calderas.

- e. Mantener el equipo eléctrico en buen estado.
- f. Enfatizar el orden y limpieza en el cuarto de calderas.
- g. Mantener una fuente de aire adecuada. Los filtros siempre deben de permanecer limpios, si el ambiente se toma frío debido al clima, el cuarto podría necesitar ser calentado para mantener una temperatura aceptable.
- h. Mantener los registros de consumo de combustible.
- i. Enfatizar en todos los aspectos la seguridad en la operación de las calderas.
- j. Revisión del nivel de agua
- k. Purga de la caldera
- l. Purga de la columna de agua
- m. Revisión visual de combustión
- n. Tratar el agua de acuerdo con el programa establecido
- o. Registro de temperatura y presión de operación diaria
- p. Registro de la temperatura del agua de alimentación
- q. Registro de temperatura del vapor de la chimenea
- r. Registro de presión de aceite y temperatura
- s. Registro de presión de gas
- t. Registro de presión de vapor
- u. Revisión general del funcionamiento de la caldera.
- v. Hacer ficha de control de la caldera
 - i. Purga
 - ii. Consumo
 - iii. Verificación de elementos de la caldera y tubería de distribución

2.1.7.1 Mantenimiento de calderas

Uno de los objetivos de la industria es producir más al menor costo, además de entregar su producción al tiempo acordado. El mantenimiento de los equipos, en este caso de la caldera, se busca mantener al equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento. Es por ello que el mantenimiento se expresa como un sistema organizado que permita el mejor aprovechamiento del medio productivo.

Mantenimiento preventivo

Para que las calderas tengan un funcionamiento eficiente se propone realizar acciones en forma lógica y sistemática con la finalidad de mantenerla trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las posibilidades de ocurrencias de fallas; es decir, prolongar el tiempo de vida útil de la caldera. Este mantenimiento puede ser de naturaleza menor, como simples reparaciones, o mayor, como una revisión general.

Mantenimiento correctivo

Se propone también intervenir inmediatamente después de ocurrida una falla. Por lo general estas fallas acarrearán retrasos en la producción. La ausencia de servicio de agua caliente, para la hidratación de la cal no puede suspenderse.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es recomendable para las calderas ya que este procedimiento lógico y sistemático determina la ocurrencia de una falla que esté por presentarse dentro de un sistema. A continuación se describen las responsabilidades del departamento de mantenimiento:

- a. Mantener en buen estado las calderas, las partes eléctricas del mismo al igual que el sistema de tuberías.
- b. Capacitar a los integrantes de dicho departamento en temas que les corresponden.
- c. Innovar los programas de mantenimiento a fin de que no se produzcan pérdidas ni retrasos en los trabajos.
- d. Velar por el cumplimiento de las normas de Seguridad Industrial.
- e. Llevar a cabo en conjunto con la administración y la gerencia la programación y ejecución del programa "over all" en las calderas y el sistema completo para así obtener mejores servicios en menos actividades de mantenimiento, mayor producción con menos paradas y lograr mayor confianza en el recurso humano disponible.

No debe olvidarse que la caldera es un dispositivo utilizado para calentar generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

Este funcionamiento hace que la caldera deba tener un mantenimiento, por lo anterior mencionado se propone tomar en cuenta que los principales problemas en este tipo de circuitos son los siguientes:

- a. Aparición de corrosión en el sistema pre-caldera y caldera por la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación
- b. Corrosión en la línea de vapor condensado por la presencia de anhídrido carbónico debido a la descomposición térmica en caldera de carbonatos y bicarbonatos.
- c. Incrustaciones por presencia de dureza en el agua de alimentación.

Un programa de tratamiento integral recomendado para estos sistemas es el siguiente:

- a. Prevención de la corrosión en caldera mediante la aplicación de un producto que asegura un secuestro casi instantáneo de oxígeno. Su control se realiza mediante la determinación de sulfito residual libre en el agua de caldera debiendo estar comprendido entre 30 y 40 ppm.
- b. Prevención de la corrosión en el circuito de vapor condensado mediante la aplicación de un producto para neutralizar el bajo pH del condensado. Su control es sencillo mediante la determinación del pH del condensado, el cual debe estar comprendido entre 8,3 - 9.
- c. Prevención de incrustaciones en el interior de caldera mediante la aplicación de un producto para evitar incrustaciones producidas por dureza en el agua de aporte, produciendo una precipitación controlada que se elimina en la purga.

De acuerdo con lo establecido este programa trae las siguientes ventajas:

- a. Eliminación total del oxígeno evitando su efecto corrosivo sobre el circuito
- b. Eliminación del dióxido de carbono evitando la aparición de picaduras.
- c. Ajuste del pH en el agua de alimentación al recuperar condensado.

- d. Prevención de las incrustaciones mejorando el rendimiento energético de la caldera.
- e. Ahorro de agua, optimizando la purga en caldera.

El revisión recomendado de las calderas es el siguiente:

- a. Semanal: Funcionamiento de los niveles de agua, verificar taponamiento en las purgas, limpieza mecánica de parrillas y tubos en el pirotubo, revisión del tablero eléctrico de control.
- b. Trimestral: Funcionamiento de los niveles de agua, verificación del funcionamiento del presuretrol (control de presión), verificación de los manómetros de la caldera y la bomba del agua, Verificar estado del termómetro de la chimenea.

Además se debe verificar disparándolas manualmente las válvulas de seguridad (a la presión de cierre). **NOTA:** No se recomienda, bajo ninguna circunstancia, recalibrar las válvulas de seguridad en sitio, enviarlas a bancos de calibración especializados, para que les cambien el resorte.

- c. Semestral: Revisar la curva de operación de la bomba del agua, que por desgaste no es capaz de mantener el nivel en la caldera. Con la válvula de salida cerrada, después del manómetro, prender la bomba y observar la presión en el manómetro (no hacerlo por un tiempo prolongado).
- d. Periódicos: de la parte interna de la caldera, destapando los “manholes” y “handholes” para inspeccionar la corrosión e incrustación, en la parte externa de los tubos del pirotubo. Establecer el periodo de esta verificación en coordinación con el fabricante de la caldera.

Es muy importante que el mantenimiento de la caldera sea realizado acorde a la fecha calendarizada. Lo siguiente es una recomendación de una

calendarización sobre las partes de la caldera que deben recibir mantenimiento tal como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla I Calendarización para mantenimiento de calderas

No.	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
1	Revisión de válvulas de combustible	Inspeccionar el quemador	Limpieza de llaves para agua	Limpieza de las superficies del hogar de la caldera
2	Revisión de la conexión entre combustible y aire	Analizar combustión	Revisión del precalentador de bunker	Limpieza de recamara
3	Revisión de luces y alarmas de seguridad	Revisión de levas	Inspección de refractario	Limpieza de superficies en contacto con agua
4	Revisión de controles de operación y límites	Inspección de fugas de vapor en chimenea	Limpieza de filtro de combustible	Revisión de tanque de almacenamiento de bunker
5	Revisión de controles de seguridad y entrelazados	Inspección de puntos calientes	Limpieza de separador de agua / aceite	Revisión de los niveles de fluido en válvulas hidráulicas
6	Revisión de operación de corte de agua	Repaso del procedimiento de purga de la caldera	Revisión de alineamiento y acople de bombas	Revisión de manómetros
7	Revisión de fugas, ruidos, vibraciones y condiciones inusuales	Revisión del alimentador de aire	Resetear combustión	Reemplazo de válvulas de seguridad
8	Revisión de operación de todos los motores	Revisión de filtros	Inspección de interruptores de mercurio	Revisión de bombas de aceite
9	Revisión general del proceso de combustión	Revisión de sistema de combustible		Revisión de bombas de alimentación
10	Revisión de los niveles de lubricante	Revisión a máxima potencia		Revisión de condensadores
11	Revisión de collarines	Revisión requerimientos de lubricación		Revisión del sistema de alimentadores para químicos
12				Aseguramiento de terminales eléctricas

Fuente: Propuesta de proyecto

El mantenimiento desempeña una gran labor ya que esta permite utilizar las calderas el mayor tiempo posible de acuerdo como se ejecuta el cuidado. Al carecerse de un buen mantenimiento de sus equipos que son los que le permiten procesar algunos de los servicios básicos, trae como consecuencia que las calderas puedan presentar fallas a corto y a largo plazo, estas fallas progresivamente afectan los objetivos de la organización.

Por esta razón hay que tomar el mantenimiento preventivo con suma importancia, así como el correctivo y el predictivo y hacer un cronograma de sustento de las calderas para que se ejecute de la mejor manera que permita menos paros por mantenimiento, además, hay que tener en cuenta que las personas o empleados que ejecuten este proceso estén bien preparadas y supervisadas estrictamente.

Tratamiento del agua de alimentación

Es un aspecto al cual se debe prestar la mayor atención, si se quiere preservar las calderas y obtener la generación de vapor requerida para el proceso. Se propone que el agua de alimentación para calderas, debe cumplir con los siguientes pre-tratamientos mínimos:

- a. Precipitación
- b. Filtrar
- c. Suavización
- d. Desalcalinizarla
- e. Desmineralizarla
- f. Desaireación (Química o física)

Parámetros a controlar en el agua de alimentación

- a. **PH:** Identifica el nivel de agresividad química del agua. En las purgas el PH debe estar entre 10 y 10.5; dentro de estos valores la caldera se conserva adecuadamente. Si el PH es mayor que 11 comienza un fenómeno indeseable, que es la fragilidad cáustica.

- b. **Dureza total:** Indica la cantidad de sales minerales disueltas en el agua; una alta dureza en el agua de alimentación causa la formación de depósitos muy duros, sobre las superficies de calentamiento y evaporación, llamados incrustaciones que disminuyen la eficiencia de producción de vapor y originan daños por rotura de tuberías. La dureza se contrarresta directamente sobre el agua de alimentación, antes de esta ingrese a la caldera, mediante el uso de equipos de operación sencilla, los suavizadores, que usan resinas de intercambio iónico; también se usan los inhibidores de dureza, llamados equipos solavite.

- c. **Sólidos disueltos:** El agua de alimentación para calderas debe ser translúcida (baja turbidez), por consiguiente se debe contar con una planta general de tratamiento de agua cruda, que garantice una eficiente remoción de los sólidos en suspensión, causantes de una alta turbidez; al no removerlos previamente, ocasionan taponamientos en tuberías e incrustaciones dentro de la caldera.

- d. **Contenido de hierro:** El hierro presente en el agua de alimentación para calderas es corrosivo y debe eliminarse. Es necesario poner atención a este parámetro cuando el agua que se usa para la planta de beneficio primario es de pozo profundo. El hierro se elimina mediante oxidación, floculación y filtración, en la planta de tratamiento de agua cruda.

- e. **Oxígeno disuelto:** El oxígeno es otro de los enemigos de las calderas; se encuentra disuelto en el agua de alimentación y es completamente necesario retirarlo. De lo contrario produce el fenómeno conocido como "pitting" en las tuberías de evaporación dentro de las calderas, que se manifiesta como "huecos" o manchas fácilmente reconocibles. Cuando el agua de alimentación tiene bastante oxígeno disuelto, el daño de las tuberías es muy rápido. El agua de alimentación para calderas debe tener 0.0 ppm de oxígeno disuelto. El oxígeno se retira del agua usando desaireadores, químicos o precalentando el agua.

3. PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR

3.1 Evaluación del sistema de vapor

El transporte de vapor se hace por tuberías desde la caldera hasta el punto de consumo, que es una clase de equipo térmico, y luego desde éste hasta la caldera pero con un menor contenido energético. La experiencia ha demostrado que la gran mayoría de calderas trabajan con eficiencias térmicas menores a la máxima alcanzable.

Por otro lado, en los sistemas de distribución de vapor o agua caliente, también se presentan deficiencias que se traducen en pérdidas de energía que a su vez implican mayor consumo de combustible en la caldera.

En un sistema de generación-distribución en conjunto, el uso ineficiente de la energía puede significar un aprovechamiento tan bajo como del 30% de la energía aportada al sistema por el combustible de la caldera (sistema de vapor), en lugar de un 70% como podría ser en el caso de un sistema optimizado.

La ineficiencia de las calderas y sistemas de distribución, además de implicar mayor consumo de combustible, implican también un incremento proporcional de las emisiones de gases de combustión.

De acuerdo a lo descrito anteriormente en el capítulo número dos, el sistema de tuberías de vapor de la empresa, se propone que debe ser evaluado con mayor frecuencia, ya que existen pequeñas averías en el manifold, y en los servicios de vapor que se encuentran en:

- c. Producción de cal: calcinación de la piedra caliza

- d. Agua Caliente: para la hidratación de la cal.

En la visita técnica, se detectaron fallas en el sistema de tuberías por falta de una evaluación constante, las averías y deterioro, aunque son muy pequeñas, se encuentran específicamente en:

- b. Fugas de vapor
- d. Falta de aislamiento térmico
- e. Aislamiento térmico muy antiguo
- f. Aislamiento térmico dañado

Cuando existe una buena evaluación del sistema de tuberías se prevén pérdidas de calor, no obstante parte del calor es radiado al medio ambiente. En este transporte el vapor cede calor a las paredes de la tubería y empieza a condensar en agua (agua caliente) y a depositarse en el fondo de la misma. Si este condensado se le permite mantenerse en la tubería el ocasionará tanto pérdida de calor como bloqueo con sus correspondientes consecuencias.

En la evaluación del sistema de tuberías se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones específicas:

- c. Inspeccionar las tuberías y accesorios del sistema.
 - i. Fugas
 - ii. Corrosión
 - iii. Falta de aislamiento térmico
- d. Inspeccionar el aislamiento térmico:
 - i. Humedad
 - ii. Espesor adecuado
 - iii. Tipo de Material

3.1.1 Fugas de vapor en tuberías

Típicamente las calderas y sistemas de tuberías de vapor trabajan a una presión de 100 a 150 psi, lo cual significa que las instalaciones desnudas (equipos, tuberías, accesorios, etc.) tienen temperaturas superficiales de 155 a 170 °C aproximadamente. Por ello se crean gradientes de temperatura con el aire exterior que producen intercambios de calor. Esto se traduce en pérdidas de energía al ambiente, los cuales son mayores cuando las instalaciones están a la intemperie.

Un problema de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor.

Dicho problema adolece de una serie de características que le hacen especialmente grave en el caso de las calderas destinadas se encuentran los diversos suministradores, implica la necesidad de un nivel de disponibilidad lo más alto posible, resultando de un gran perjuicio económico cualquier necesidad no programada de parada de las mismas. Generalmente la pérdida de vapor que existe en un sistema de tuberías se debe a que no existe un programa de mantenimiento preventivo.

Siempre el problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil, por no decir imposible, la predicción precisa del mismo. Los fenómenos de corrosión y de degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos, sin embargo nadie tiene datos suficientes de todos los elementos instalados en una caldera, y menos de sus defectos

ocultos de fabricación, como para establecer un modelo matemático que permitiese predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga.

Como máximo se puede decir que cuantos más días se lleva sin la manifestación de una fuga, más alta será la probabilidad de que dicha fuga pudiese aparecer. Una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras, no se puede dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

Por estas razones se recomienda tomar en cuenta con suma urgencia las pérdidas de vapor, que actualmente sufre el sistema de tuberías de dicha empresa.

3.1.2 Fugas de vapor en accesorios

De acuerdo a lo observado algunos accesorios están sin aislamiento térmico, esto contribuye a que aumente la pérdida de calor, además la temperatura del aire en el local o en el recinto cerrado donde se encuentran las mismas, puede alcanzar valores elevados e incomodar ya sea a las personas que trabajan en las cercanías y a las paneles de control eléctrico del sistema.

Por lo anteriormente expuesto se recomienda tomar en cuenta en la supervisión a los accesorios porque son igualmente indispensables como las tuberías, para evitar las pérdidas térmicas, y ahorrar cantidades de kg/h de vapor, esto dependerá del diámetro del accesorio.

Por ejemplo, aislar térmicamente una válvula con diámetro de 200 decímetros equivale a ahorrar 2 kg/h de vapor. Pero la experiencia conduce a valores notablemente mayores (0.8 a 1 kg/h por válvula de 40 a 50 decímetros de diámetro).

Se recomienda aislar térmicamente los accesorios por medio de colchones desmontables. Estos colchones se pueden fabricar con fibra de vidrio rellenos de lana mineral, y fijados mediante lazadas. Esta solución garantiza una larga vida a los colchones, superior a las láminas de revestimiento.

Se considera el espesor del colchón como igual al del aislamiento térmico de una tubería del mismo diámetro. Las propiedades y características de los aislantes térmicos en los accesorios se mencionan a continuación:

- a. **Coefficiente de conductividad térmica:** El valor del coeficiente debe ser el menor posible, por lo regular se llega a obtener menor a $0.05 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para una temperatura en la superficie caliente, inferior o igual a 250°C , y una temperatura en la superficie fría, inferior o igual a 40°C .
- b. **Resistencia al calor:** El aislante térmico, sometidos a temperaturas altas, debe ser capaz de resistirlas sin que sus características experimenten cambios (el vapor de agua a una temperatura inferior a 250°C debe resistir una temperatura de 3000°C).

- c. Resistencia al fuego:** El material aislante debe ser incombustible o ignífugo.
- d. Resistencia mecánica:** Todo material debe conservar en el tiempo sus dimensiones iniciales y especialmente, ofrecer durante el servicio una óptima resistencia a los asentamientos y debilitamientos. Esto ha llevado en la práctica a evitar los materiales de densidad muy baja.
- e. Resistencia a la humedad:** Los aislantes térmicos deben mantenerse estables en una atmósfera caliente y húmeda.

Estas características no solo son aplicables a los accesorios sino también para las tuberías.

3.1.3 Evaluación de aislantes térmicos

La pérdida de calor por falta de aislamiento térmico en tuberías es un tema de prioridad, debido a que la falta de estos produce pérdidas, sucede también con frecuencia que el aislamiento es removido de las tuberías, válvulas y partes de las calderas, para fines de reparación y no es colocado nuevamente.

Quedando así superficies desnudas que constituyen no sólo un riesgo para la seguridad de los trabajadores, sino también una pérdida de calor que produce condensación de vapor y merma de este, lo cual tiene que ser compensado con mayor aporte de combustible en la caldera.

Para reducir las pérdidas de calor al ambiente es necesario que las superficies de tuberías, accesorios, equipos, etc., estén convenientemente aisladas, lo cual permitirá evitar que aproximadamente un porcentaje de la

energía se pierda innecesariamente. Existe un % que se perderá inevitablemente, pues los aislamientos no son 100% eficaces.

Un sistema de aislamiento térmico está formado por la combinación de materiales de elevada resistencia al paso de calor, acabado y accesorio que ensamblados cumplen uno o más de los anteriores objetivos. La eficiencia y servicio de un aislamiento depende directamente de su protección a la entrada de humedad y del daño mecánico o químico, por lo tanto la selección de materiales para acabado de protección debe estar basada en las condiciones de la instalación.

Se recomienda seleccionar un aislante para una determinada aplicación, deberán tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Tipo de aislante
- b. Conductividad térmica
- c. Emisividad del aislante
- d. Temperatura de trabajo
- e. Densidad
- f. Característica higroscópica
- g. Capacidad de secado rápido si absorbe humedad
- h. Estabilidad (alteración de sus características térmicas)
- i. Resistencia a la combustión
- j. Emisión de gases tóxicos en caso de combustión
- k. Facilidad de colocación
- l. Resistencia al daño y al deterioro
- m. Resistencia a la deformación y contracción
- n. Facilidad para recibir un acabado exterior superficial
- o. No ser peligroso para la salud durante su instalación

Para los sistemas de vapor a las presiones usuales, muchas veces es suficiente y adecuado usar aislamiento de fibra de vidrio, el cual viene normalmente en presentaciones preformadas listas para instalar, lo que aunado a su bajo peso y buenas características térmicas significa bajos costos de instalación.

Los aislantes térmicos son materiales que se utilizan por su alta resistencia al calor. Este tipo de material esta constituido por el revestimiento exterior que cubren las tuberías, de distribución y cuya función principal es reducir y retardar las pérdidas de calor a través de las paredes de las tuberías.

Si las tuberías no son cubiertas con un aislante térmico, de determinado espesor la perdida de calor ocasionaría gastos de combustible. Los materiales usados para el revestimiento de las tuberías son: asbesto, amianto, lana mineral, entre otros. Las partes irregulares como los codos, las uniones, las bridas y otros se recomienda no dejarlas sin un aislamiento térmico.

3.1.4 Instalación correcta de trampas

Juicio y experiencia son a menudo elementos vitales para obtener los mejores resultados en las trampas de vapor, sin embargo, un conocimiento verdaderamente efectivo y la habilidad para desarrollar y mantener una actividad eficiente en trampas de vapor.

Para el sistema de vapor, la ubicación de trampas viene a fortalecer las líneas de distribución de las misma por lo que se recomiendan dos categorías:

- c. Procesos
- d. Protección de línea

A. Procesos

En el proceso las trampas drenan el condensado que se forma al utilizarse el vapor. Los procesos comunes son:

- e. Calentamiento de un líquido (marmitas, intercambiadores de concha y tubo)
- f. Calentamiento de un gas (precalentamiento de aire, serpentines de calefacción, secadores entre otros.)
- g. Calentamiento de un sólido (secadores de tambor)
- h. Calentamiento directo de sólidos (autoclaves)

Estas aplicaciones favorecen al sistema ya que se caracterizan por presiones normalmente menores de 125 PSI (0.86 Mpa), las cuales varían debido a la carga fluctuante del proceso. Por la misma razón, las cargas de condensado son también variables, especialmente en los procesos por tandas. En este caso la descarga de aire y de gases no condensables es muy importante y puede implicar volúmenes grandes de estos gases.

La ubicación normal de las trampas en todos estos casos es inferior al nivel del equipo de proceso. Es importante recordar que en el proceso cada equipo tiene su propia trampa, para ello nunca se deben drenar dos equipos con la misma trampa.

B. Protección de líneas

Para este caso existen dos aplicaciones de trampas en lo que a protección de líneas se refiere. La primera es el drenaje de condensados que se forman en las líneas de distribución de vapor debido al enfriamiento

ambiental. La segunda aplicación es en las líneas “tracer” o sea líneas de vapor normalmente de media pulgada, que se instalan contiguas a tuberías de distribución de fluidos que se necesitan mantener a cierta temperatura.

En estas aplicaciones, especialmente en drenajes de tuberías principales y ramales de vapor, las presiones encontradas son normalmente más altas que en el proceso y son mucho más constantes. Las cargas de condensados son muy constantes también, con la excepción de acumulación alta de condensado al arrancar un sistema frío. La descarga de aire es importante solamente durante el arranque. Durante la operación del sistema, la carga de condensado es muy baja y no existe necesidad de descargar aire y gases no condensables.

Para la ubicación de trampas en el sistema se recomienda instalarse en cada punto del sistema antes de cada punto principal:

1. Abajo del punto de drenado siempre que sea posible
 - i. Antes de cada válvula principal
 - ii. Antes de cada elevación de la tubería
 - iii. En cada terminación de un ramal

2. Accesible para ser inspeccionada y ser reparada

Si no existe ninguna de estas condiciones en un tramo de tubería, se recomienda instalar una trampa entre 40 y 60 metros aproximadamente.

3.2 Diseño de tuberías

El diseño de un sistema de tuberías consiste en calcular tuberías, brida, empacaduras, válvulas, accesorios, filtros, trampas de vapor juntas de expansión. También incluye el diseño de los elementos de soporte, tales como

zapatillas, resortes y colgantes, pero no incluye el de estructuras para fijar los soportes, tales como fundaciones, armaduras o pórticos de acero.

Aun en el caso en que los soportes sean diseñados por un ingeniero estructural, el diseñador mecánico de la tubería debe conocer el diseño de los mismos, por la interacción directa entre tuberías y soportes.

La lista siguiente muestra los pasos que deben completarse en el diseño mecánico de cualquier sistema de tuberías:

- a. Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras condiciones, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.
- b. Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
- c. Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.
- d. Selección de las clases de "rating" de bridas y válvulas.
- e. Cálculo del espesor mínimo de pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
- f. Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.
- g. Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de

los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.

Si el sistema no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos:

- a. Reubicación de soportes
- b. Modificación del tipo de soporte en puntos específicos
- c. Utilización de soportes flexibles
- d. Modificación parcial del recorrido de la línea en zonas específicas
- e. Utilización de lazos de expansión

El análisis de flexibilidad tiene por objeto verificar que los esfuerzos en la tubería, los esfuerzos en componentes locales del sistema y las fuerzas y momentos en los puntos terminales, estén dentro de límites aceptables, en todas las fases de operación normal y anormal, durante toda la vida de la planta.

Las normas más utilizadas en el análisis de sistemas de tuberías son las normas conjuntas del American Estándar Institute y la American Society of Mechanical Engineers. Cada uno de los códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas.

En lo que concierne al diseño todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles.

3.2.1 Diseño de cargas

Un sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción y montaje. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. A continuación se resumen las posibles cargas típicas que deben considerarse en el diseño de tuberías.

Cargas por la presión de diseño

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

Cargas por peso

Para las cargas por peso se deben considerar los siguientes:

- a. Peso muerto incluyendo tubería, accesorios, y aislamiento.
- b. Cargas vivas impuestas por el flujo de prueba o de proceso.
- c. Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.

Cargas dinámicas

Para las cargas dinámicas se deben considerar los siguientes:

- a. Cargas por efecto del viento, ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento.

- b. Cargas sísmicas que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos
- c. Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos.
- d. Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

Este tipo de cargas no será considerado ya que forman parte de análisis dinámicos y en este proyecto sólo se realizarán análisis estáticos.

Efectos de la expansión y/o contracción térmica

Para los efectos de expansión y/o contracción térmica se debe considerar lo siguiente:

- a. Cargas térmicas y de fricción inducidas por la restricción al movimiento de expansión térmica de la tubería
- b. Cargas inducidas por un gradiente térmico severo o diferencia en las características de expansión (diferentes materiales)

Efectos de los soportes, anclajes y movimiento en las terminales

Para los efectos de los soportes, anclajes y movimientos en las terminales se debe considerar lo siguiente:

- a. Expansión térmica de los equipos
- b. Asentamiento de las fundaciones de los equipos y/o soportes de las tuberías

Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se definen en términos de las propiedades de resistencia mecánica del material, obtenidas en ensayos de tracción para diferentes niveles de temperatura y de un factor de seguridad global.

La norma ASME B31.3 estipula dos criterios para el esfuerzo admisible. Uno es el llamado "esfuerzo básico admisible" en tensión a la temperatura de diseño, con la cual están familiarizados los que se dedican al diseño de equipos sometidos a presión, es menos conocido y se le denomina "rango de esfuerzo admisible", el cual se deriva del esfuerzo básico admisible y se emplea como base para el cálculo de la expansión térmica y para el análisis de flexibilidad.

3.2.2 Diseño de presión

La presión de diseño no será menor que la presión a las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes, externa o internamente, que se espere en operación normal. La condición más severa de presión y temperatura coincidente, es aquella condición que resulte en el mayor espesor requerido y en la clasificación ("rating") más alta de los componentes del sistema de tuberías. Se debe excluir la pérdida involuntaria de presión, externa o interna, que cause máxima diferencia de presión.

3.2.3 Control de temperatura

La temperatura de diseño es la temperatura del metal que representa la condición más severa de presión y temperatura coincidentes. Los requisitos para determinar la temperatura del metal de diseño para tuberías son:

- a. Para componentes de tubería con aislamiento externo, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido contenido.
- b. Para componentes de tubería sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperaturas de 32°F (0°C) y mayores, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido.
- c. Para temperaturas de fluidos menores de 32°F (0°C), la temperatura del metal para el diseño, será la temperatura de diseño del fluido contenido.
- d. Para tuberías aisladas internamente la temperatura será especificada o será calculada usando la temperatura ambiental máxima sin viento (velocidad cero).

3.3 Capacitación del personal operativo

La capacitación del personal operativo es indispensable ya que es el recurso par el cumplimiento de los objetivos del sistema de vapor, esto implica, tomar en cuenta lo siguiente:

Taller: Se requiere de capacitación técnica básica, preferentemente multivalente, que atienda los requerimientos propios de cada industria en particular.

Zonas: Para este segmento del área de mantenimiento se requiere que, además de capacitación técnica básica como mecánicos montadores, dispongan de conocimiento de la tecnología de los procesos productivos cuyos equipos e instalaciones atienden, así como de un buen ejercicio de las relaciones humanas y, paralelamente, un acatamiento exclusivo al área de mantenimiento.

Servicios: Deben contar con formación técnica básica y con un buen conocimiento de la tecnología de los procesos a atender. En algunos países se requiere también superar algunas pruebas de capacitación para habilitarlos como operadores idóneos. En consecuencia, en caso de corresponder, se incluirán en el manual los requisitos a satisfacer y los lineamientos de capacitación a tener en cuenta.

Los supervisores o mandos medios son el enlace natural entre la gerencia y los trabajadores encargados de realizar las tareas de mantenimiento propiamente dichas, operación de los servicios a la producción, entre otros. Su capacitación debe ser preferentemente técnica que cubra también, y como mínimo, la mayoría de las técnicas del trabajo requeridas en el área de mantenimiento.

También debe contar con un conocimiento general de la tecnología de los procesos productivos y de los servicios a atender, así como conocer los conceptos básicos de limpieza, higiene y seguridad industriales. También en este nivel se requiere que sean líderes, cuenten con aptitudes para dirigir y motivar al personal a su cargo en la correcta y eficiente ejecución de las tareas. Además son responsables de cumplir con las siguientes funciones:

- a. Definir las metas a alcanzar dentro de los objetivos y políticas previamente acordadas con la alta gerencia de la empresa y con su staff.
- b. Establecer los procedimientos para encarar el mantenimiento y para la recopilación, procesamiento, divulgación de datos y formulación de los informes correspondientes.
- c. Analizar los datos e informes y formular recomendaciones y/o modificaciones a los programas y "modus operandi" establecidos.

- d. Definir los programas de entrenamiento y capacitación del personal.
- e. Establecer procedimientos para la evaluación de la eficiencia del plan de mantenimiento.
- f. Establecer presupuesto y costos de mantenimiento.
- g. Establecer un registro y análisis de fallas de los equipos e instalaciones y desarrollar y/o ajustar procedimientos para su control o eliminación efectivos.
- h. Actualizar el manual de gestión de mantenimiento.
- i. Definir y administrar los recursos físicos y humanos para cumplir satisfactoriamente con los objetivos y metas fijadas.

El gerente de mantenimiento debe responder a un perfil de capacitación preferentemente universitaria con formación básica que cubra, por lo menos, la mayoría de las técnicas de trabajo departamental. Paralelamente, es recomendable que tenga conocimiento general de la tecnología involucrada en los procesos productivos, así como conceptos de limpieza, higiene y seguridad industrial.

3.4 Factores de seguridad en la selección de trampas de vapor

Los factores de seguridad en la selección e trampas de vapor se efectúan cuando se conocen los factores siguientes:

- a. Carga de condensado en Kg. / hora
- b. El factor de seguridad a usar
- c. La diferencia de presiones
- d. La presión máxima permitida

Carga de condensado: Cada sección de “cómo trampear” se debe considerar los rangos de condensación de vapor y los procedimientos adecuados de selección de trampas.

Factor de seguridad a usar: Generalmente se debe usar un factor de seguridad cuando se selecciona trampas de vapor. El factor de seguridad sirve para satisfacer condiciones de flujo de condensado variable, caídas ocasionales de la presión diferencial y factores propios del equipo.

La diferencia de presiones: Diferencial máximo es la diferencia entre la presión de la caldera, o del cabezal de vapor, o a la salida de una válvula reguladora de presión, y la presión de la línea de retorno. Una trampa debe de ser capaz de abrir venciendo esta presión diferencial.

La presión máxima permitida: La trampa debe ser capaz de aguantar la máxima presión permitida en el sistema o la presión de diseño. Tal vez no sea necesario que opere a esta presión, pero debe ser capaz de aguantarla.

Por ejemplo si la presión máxima de entrada es 26 bar y la presión en la línea de retorno es 11 bar, esto resulta en una presión diferencial de 15 bar, sin embargo, la trampa debe de aguantar la presión máxima posible de 26 bar.

3.5 Auditoría del sistema

Para la auditoría del sistema de vapor se recomienda que, siempre que falle una trampa de vapor y no existe una razón aparente para esa falla, se debe de observar cuidadosamente la descarga de la trampa. Esta es una tarea sencilla si es que la trampa se ha instalado con una salida para pruebas; si este no es el caso, entonces será necesario desconectar la tubería de salida para

observar la descarga. Los siguientes enunciados ayudan a determinar la situación:

A. Trampa fría y sin descarga

Si la trampa no está descargando ningún condensado, entonces:

A.1. La presión puede ser demasiado alta

- a. Se especificó la presión incorrecta para su selección
- b. La presión se elevó sin haber instalado un orificio más pequeño
- c. La válvula reguladora no funciona correctamente
- d. Lectura baja en el manómetro para la presión de la caldera
- e. El orificio se ha hecho más grande debido al desgaste normal
- f. Un alto vacío en las tuberías de retorno incrementa la presión diferencial más allá de la máxima permitida para la trampa.

A.2 No llega condensado o vapor a la trampa

- a. El filtro antes de la trampa está tapado
- b. Fugas en la tubería de entrada a la trampa
- c. Tubería o codos tapados

A.3 Mecanismo desgastado o defectuoso

- a. Se debe de reparar o reemplazar lo que sea necesario.

A.4 El cuerpo de la trampa está lleno de suciedad

- a. Se debe de instalar un filtro, o remover la suciedad en donde se está generando

A.5 Para trampas IB, el venteador en el balde está lleno de suciedad. Se evita mediante:

- a. La instalación de un filtro
- b. Aumento ligero del tamaño del venteador
- c. El uso de un alambre limpiador en el venteador del balde

A.6 Para trampas F & T

- a. Si el venteador de aire no está funcionando en forma correcta. Es muy probable que está trabado por el aire.

A.7 Para trampas termostáticas

- a. Parte del fuelle se puede romper debido a impacto hidráulico, lo que causaría que la trampa falle cerrada.

A.8 Para trampa de disco

- a. Puede ser que la trampa se instaló invertida.

B. Trampa caliente y sin descarga

B.1 No está llegando condensado a la trampa

- a. La trampa se instaló más arriba que una válvula de bypass con fuga
- b. El tubo de drenaje por sifón en un tanque está roto o dañado
- c. Vacío en el serpentín del calentador de agua evita el drenaje. Se debe de instalar un rompedor de vacío entre el intercambiador de calor y la trampa.

C. Pérdida de calor

Si la trampa está dejando escapar vapor vivo, se puede deber a cualquiera de los siguientes problemas:

C.1 La válvula no cierra en su asiento.

- a. Pedazo de óxido incrustado en el orificio
- b. Partes desgastadas

C.2 Trampas IB pierden su ciclo

- a. Si la trampa está descargando vapor vivo. Ciérrase la válvula de entrada por unos minutos. Vuélvase a abrir gradualmente. Si la trampa recupera su ciclo de operación entonces muy probablemente la trampa no tiene ningún problema.
- b. Típicamente la pérdida de calor en una trampa se debe a cambios frecuentes y repentinos en la presión del vapor. En estos casos se recomienda la instalación de una válvula check. Cuando sea posible se debe de instalar la trampa muy por debajo del punto de drenado.

D. Flujo continuo

Si una trampa IB o una de disco está descargando continuamente, o si una trampa F&T una termostática descarga a su máxima capacidad, se debe de checar lo siguiente:

D.1 Trampa demasiado pequeña.

- a. Una trampa más grande, o trampas adicionales, se debe de instalar en paralelo

- b. Trampas para altas presiones se pueden estar utilizando en aplicaciones a baja presión. Instálese un mecanismo interno del tamaño adecuado.

D.2 Agua en condiciones anormales

- a. La caldera, al estar formando espuma o al estar sobrecargada, lanza grandes cantidades de agua en las tuberías del vapor. Se debe de instalar un separador o se deben de corregir las condiciones del agua de alimentación a las calderas.

E. Calentamiento lento

Cuando la trampa está operando de manera correcta pero la unidad no calienta de forma adecuada, entonces:

- a. Una o más de las unidades están en cortocircuito. La solución es instalar una trampa en cada unidad.
- b. Las trampas pueden ser demasiado pequeñas para la aplicación dada, aún cuando parezca que está descargando el condensado de una manera eficiente. Se debe de probar trampas de un tamaño más grande.
- c. La trampa tiene capacidad insuficiente para lidiar con el aire presente, o el aire puede no estar llegando hasta la trampa. En ambos casos se debe de usar un venteador de aire adicional.

F. Problemas misteriosos

Si la trampa está funcionando de manera satisfactoria cuando descarga a la atmósfera, pero se tienen problemas cuando su descarga se conecta a una tubería de retorno, se debe de checar lo siguiente:

F.1 La contrapresión puede estar disminuyendo de capacidad de la trampa

- a. La tubería de retorno es demasiado pequeña – trampa caliente.
- b. Otras trampas están descargando vapor – trampa caliente.
- c. El venteador atmosférico en el receptor del condensado está tapado – trampa fría o caliente.
- d. La tubería de retorno está obstruida – trampa caliente.
- e. Vacío excesivo en la tubería de retorno – trampa fría.

G. Problemas imaginarios

Si se tiene la impresión de que se está escapando vapor cada vez que la trampa descarga, recuérdese que:

- a. El condensado caliente genera vapor al ser descargado a una presión menor, pero generalmente se condensa más rápido en la tubería de retorno.

3.6 Eficiencia en el sistema de vapor

La eficiencia en el sistema de vapor se logra únicamente con un programa de mantenimiento efectivo. Cuando este se logra, se espera resultados como:

- a. Pérdida mínima de vapor: Resulta muy costoso al tener fugas sin reparar.
- b. Larga vida y servicio seguro: El desgaste rápido de sus partes resulta en una trampa que no ofrece servicio seguro. Una trampa eficiente ofrece ahorro de dinero al minimizar la necesidad de pruebas, reparaciones, limpieza, interrupción de servicio o cualquier otro requerimiento.

- c. Resistencia a la corrosión: Las partes importantes de una trampa deben de ser resistentes a la corrosión para que no sufran los efectos dañinos de los condensados cargados con ácido o con oxígeno
- d. Venteo del aire: El aire puede mezclarse con el vapor en cualquier momento, y en especial al arranque del equipo, el aire debe ser venteado para tener una transferencia de calor eficiente y para prevenir bloqueos en el sistema.
- e. Venteo de CO₂: Mediante el venteo de CO₂ a la temperatura del vapor se evita la formación de ácido carbónico. Por lo tanto la trampa de vapor debe operar a una temperatura igual, o bastante cerca, a la temperatura del vapor, ya que el CO₂ se disuelve en condensado que se ha enfriado a temperatura menor que la del vapor.
- f. Funcionamiento con contrapresión: Presurización de las líneas de retorno puede ocurrir por diseño o por un mal funcionamiento. Una trampa de vapor debe ser capaz de funcionar aún cuando exista contrapresión en su tubería de retorno al sistema.
- g. Libre de problemas por suciedad: Suciedad y basura siempre serán algo que se encuentra en las trampas debido a que se instalan en los niveles bajos del sistema de vapor. El condensado recoge la suciedad y el sarro en las tuberías, y también partículas sólidas pueden ser acarreadas desde la caldera.

Una trampa que ofrezca cualquier cosa menor que todas estas características deseadas, resultará en una eficiencia menor en el sistema y en un incremento en costos. Cuando una trampa ofrece todas las características enlistadas, el sistema puede lograr:

- a. Calentamiento rápido de las unidades de transferencia de calor

- b. Temperaturas máximas en las unidades para una mejor transferencia de calor.
- c. Funcionamiento a capacidad máxima
- d. Máximo ahorro energético
- e. Reducción de la mano de obra por la unidad
- f. Una vida en servicio larga, sin problemas y de mínimo mantenimiento.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE UN SISTEMA DE VAPOR

4.1 Mantenimiento de la caldera en operación

Prestar atención al mantenimiento y operación es la llave del éxito. Procedimientos impropios pueden desgastar los equipos que manejan el combustible, a través del desajuste de los componentes, resultando en un inadecuado tratamiento del agua de la caldera y de los gases de combustión, permitiendo que el condensado, todavía caliente, sea desperdiciado.

Una caldera a la que no se le ha dado mantenimiento por un largo tiempo, es posible que inmediatamente se le pueda obtener un incremento de eficiencia de 20 a 30 por ciento esto se logra haciendole una revisión general fugas al sistema de distribución. A continuación se enlistan algunas aplicaciones a utilizar:

- a. **Tratamiento de Agua.** Si el agua de alimentación de la caldera no es tratada adecuadamente, las incrustaciones pueden reducir su eficiencia tanto como 10 – 12 por ciento y puede, incluso, ser peligroso para la instalación.
- b. **Retorno de Condensados.** Adicionalmente se requiere entre 15 a 18 por ciento de la energía de la caldera desde el sistema de generación distribución de vapor para recalentar cada libra de agua fría de repuesto.
- c. **Controladores de Carga (control central).** Sistemas de control distribuido digital basados en computadoras proveen una confiabilidad y tal que pueden alargar la vida útil de la caldera. Controles de quemadores múltiples se pueden acoplar con el control de ajuste de aire

lo que puede dar como resultado ahorros de combustible de 3 a 5 por ciento.

Para el mantenimiento en operación es necesario implementar un plan de mantenimiento que consiste en lo siguiente:

- a. Revisar las trampas de vapor y de condensados y asegúrese de que los condensados son retornados eficientemente.
- b. Instalar medidores y llevar registros de hacia dónde va el vapor. Hacer inspecciones del sistema general de distribución y de cada uno de los procesos individuales para mantener un buen balance de vapor.

Cuidar el sistema de distribución de vapor nos da una las mejores oportunidades de ahorrar. El costo del mantenimiento a las trampas de vapor y el revisar que no existan fugas en las uniones de las tuberías y en las válvulas, requiere de una inversión de capital muy pequeña. Dar entrenamiento completo y eficaz al personal de mantenimiento, lo cual resulta en una buena inversión.

Fugas de Vapor. En todo el sistema de vapor existen fugas por trampas de vapor que no funcionan bien y la falta de aislamiento en algunas partes de la tuberías esto no permiten que el sistema tenga una eficiencia del 100%, ya que la eficiencia actual es del 85%.

Trampas de Vapor. Debido a que se encuentran 5 trampas de vapor en mal estado, se debe cambiar para no seguir teniendo pérdidas. Con esta mejora el sistema será más eficiente y productivo.

Aislamientos. El sistema actual tiene aproximadamente 3 metros lineales de aislamiento térmico que se encuentra deteriorado para lo cual es necesario sustituirlo por nuevo.

Para cuidar el sistema de distribución de vapor se debe aplicar los siguientes factores:

- a. Establecer un programa para regular la inspección, prueba y reparación de las trampas de vapor. El personal de mantenimiento y de operación debe ser entrenado adecuadamente en las técnicas para hacer pruebas a las trampas de vapor. Cuando se requiera hacer pruebas de ultrasonido, contrate personal adecuadamente entrenado.
- b. Plan de inspección (rutinas de mantenimiento) para detectar fugas de vapor en las tuberías.
- c. Revisar la operatividad de las válvulas de control.
- d. Mantener un sistema rutinario para identificar líneas de vapor, tuberías de retorno o de drenaje.

4.1.1 Control de operación rutinario

Su explosiva demanda requerida para el desarrollo de una sociedad en crecimiento industrial exponencial, y el agotamiento de recursos energéticos hace que el control de la operación de las calderas sea estricto.

Con los programas de control diario se logra que la conservación de la energía pueda hacer bajar su consumo y los costos de operación sin alterar, ó aún mejorando la producción. Se ha demostrado repetidamente que algunas medidas de conservación pueden reducir el consumo energético entre un 15 a 30%, convirtiéndose esta actividad en una de las inversiones más lucrativas tanto para el sector industrial como para el comercial.

Es necesario anotar que el término conservación o ahorro de energía no corresponde al sentido de restricción o racionamiento en el consumo requerido, se refiere sí, a su utilización óptima a través de prácticas de mantenimiento y operación.

A continuación se describen las rutinas para el control diario de la caldera.

Tabla II Rutinas para control de calderas

Actividad	Responsable
Mantener el manual en un lugar visible al alcance del operario y asegurarse que esta información pueda ser consultada por el equipo de mantenimiento cuando sea necesario	Supervisor
Mantener un registro de funcionamiento completo. Los componentes individuales de la caldera deben de ser enlistados o colocados en una base de datos especificando el modelo, número de serie y fecha de instalación.	Supervisor
Establecer un calendario de inspecciones reguladas.	Supervisor
Establecer y mantener actualizados los procedimientos de operación. Un procedimiento de arranque detallado es esencial para estandarizar la rutina en el cuarto de calderas.	Supervisor
Mantener el equipo eléctrico en buen estado, realizar inspección visual en cables, vibración y suciedad)	Operario
Enfatizar el orden y limpieza en el cuarto de calderas.	Supervisor
Inspección de la ventilación de aire. Los filtros siempre deben de permanecer limpios, si el ambiente se torna frío debido al clima, el cuarto podría necesitar ser calentado para mantener una temperatura aceptable (acondicionamiento del aire).	Operario
Mantener los registros de consumo de combustible.	Supervisor

Continúa Tabla II

Enfatizar en todos los aspectos la seguridad en la operación de las calderas.	Supervisor
Control del nivel de agua	Operario
Purga de la caldera	Operario
Purga de la columna de agua	Operario
Control visual de combustión	Operario
Control de Fugas en el sistema	Operario
Tratar el agua de acuerdo con el programa establecido	Operario
Registro de temperatura y presión de operación diaria	Operario
Registro de de la temperatura del agua de alimentación	Operario
Registro de temperatura del vapor de la chimenea	Operario
Registro de presión de aceite y temperatura	Operario
Registro de presión de gas	Operario
Registro de presión de vapor	Operario
Purga	Operario
Consumo	Operario
Verificar los elementos de la caldera y tubería de distribución	Operario
Codificación e identificación de las trampas para vapor en sitio con placa de acero inoxidable. Así como la codificación de las tuberías de distribución de servicio de vapor.	Supervisor

FUENTE: Propuesta de proyecto

4.2 Mantenimiento fuera de operación

En este mantenimiento se evalúan todos los componentes del sistema de generación y distribución del vapor a la planta y el sistema de retorno del condensado. Con este mantenimiento se encuentran las oportunidades de ahorro, uso y administración de la energía y por ende ahorro en los costos operativos, mejorar la calidad del vapor y mayor productividad.

Los pasos a seguir en un mantenimiento correctivo son:

Paso uno

Levantamiento del plano del sistema de vapor y condensado actual con alto nivel de detalle.

Paso dos

Desmontar las trampas de vapor y componentes del sistema, con equipo apropiado, en donde se especifican cada una de las trampas en cuanto a sus características de desempeño. Además permite graficar los resultados de la revisión y llevar el control estadístico del sistema de trampas.

Paso tres

Hacer historial del equipo para mejor control de pieza de desgaste o de recambio.

Paso cuatro

Realizar de reporte donde se describen y se cuantifican los problemas encontrados y las respectivas propuestas para la solución del mismo. En los casos donde se ameriten, se tomarán fotografías digitales para soportar el reporte de la falla y se hará un esquema para ilustrar la solución a dicha falla, incluyendo la selección de los equipos necesarios para este fin.

El alcance de este mantenimiento correctivo para el sistema de vapor constituye:

Tabla III Alcances del mantenimiento correctivo

Actividad	Responsable
Revisión de trampas y componentes del sistema	Operario
Revisión de la instalación (aislamientos térmicos, tuberías, etc) reporte de fallas.	Operario
Mantenimiento menor (purga del sistema)	Operario
Emisión de reporte de operación de trampas, apoyándose en ilustraciones gráficas (fotos) y dibujos esquemáticos para la descripción de las fallas.	Supervisor, Operario
Programa de mantenimiento para la solución de problemas encontrados.	Supervisor
Actualización de los planos del sistema de vapor y condensado.	Supervisor

FUENTE: Propuesta de proyecto

La Tabla número III muestra, en porcentajes, el incremento potencial en eficiencia que puede se alcanza al aplicar medidas de eficiencia energética en las diferentes áreas específicas de generación, operación y mantenimiento y distribución.

Tabla IV Incremento potencial de la eficiencia en los sistemas de Generación y distribución de vapor.

Medidas que se pueden aplicar en cada una de las áreas específicas del sistema de generación y distribución de vapor.	Incremento potencial de la eficiencia, en %, de cada una de las medidas aplicadas en las diferentes áreas específicas.
Mantenimiento de las calderas	1-2%
Equipos de recuperación de calor.	2-4%
Monitoreo y control de las emisiones	1-2%
Tratamiento de agua	10-12%
Retorno de condensados	5-10%
Control de carga	3-5%
Fugas de vapor	3-5 %
Trampas de vapor	10-15%
Aislamiento Térmico	5-10%

FUENTE: Alianza para el Ahorro de Energía de U.S.A. (Alliance to Save Energy)

4.3 Programa de mantenimiento en calderas

Cuando se opera con calderas y en especial cuando estas son adquiridas por primera vez, es necesario realizar ciertas pruebas que garantizan la correcta operación de la caldera según las especificaciones dadas por el proveedor. Entre ellas se destacan:

Uno de los objetivos de toda industria de cualquier índole es el de producir más al menor costo, además de entregar su producción o servicio al tiempo acordado, a esta ideología, todos los gerentes, ingenieros y demás se han visto en la obligación de buscar mecanismos que permitan que esta ideología sea totalmente tangible.

El mantenimiento de los equipos, en este caso de la caldera, se busca mantener al equipo o sistema en sus condiciones normales de operación o de restitución de sus condiciones específicas de funcionamiento. Es por ello que no deben olvidarse que el mantenimiento debe expresarse como un sistema organizado que permita el mejor aprovechamiento del medio productivo.

Se debe desarrollar un programa de mantenimiento permite que la caldera funcione con un mínimo de paradas en producción, minimiza costos de operación y permite un seguro funcionamiento. El mantenimiento en calderas puede ser de tres tipos:

A. Mantenimiento preventivo

Para que las calderas tengan un funcionamiento eficiente se debe realizar acciones en forma lógica y sistemática con la finalidad de mantenerla trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las

posibilidades de ocurrencias de fallas; es decir, prolongar el tiempo de vida útil de la caldera. Este mantenimiento puede ser de naturaleza menor, como simples reparaciones, o mayor, como una revisión general.

Este tipo de mantenimiento trata de anticiparse a la aparición de las fallas, evidentemente, ningún sistema puede anticiparse a las fallas que no nos avisan por algún medio. La base de información surge de fuentes internas a la organización y de fuentes externas a ella.

Las fuentes internas: están constituidas por los registros o historiales de reparaciones existentes en la empresa, los cuales informan sobre todas las tareas de mantenimiento que el bien ha sufrido durante su permanencia. Se debe tener en cuenta que los bienes existentes pudieron ser adquiridos como nuevos (sin uso) como usados.

Forman parte de las mismas fuentes, los archivos de los equipos e instalaciones con sus listados de partes, especificaciones, planos generales, de detalle, de despiece, los archivos de inventarios de piezas y partes de repuesto, por último, los archivos del personal disponible en mantenimiento con el detalle de su calificación, habilidades, horarios de trabajo, sueldos, etc.

Las fuentes externas: están constituidas por las recomendaciones sobre el mantenimiento, que efectúa el fabricante de cada bien. Las salidas del sistema, están constituidas por los informes de:

- a. Compras e inventario
- b. Listado de partes de los equipos e instalaciones
- c. Historiales
- d. De análisis de costos (costos reales contra los costos estándar)

- e. Órdenes de trabajo de mantenimiento y de recorridas en sus diversos tipos.

En el caso de compra de bienes de cierta importancia, junto con el mismo, se recibe un manual de operación y mantenimiento. En dicho manual, se recomienda la realización de determinados trabajos de mantenimiento y determinados reemplazos de piezas y/o de materiales de consumo, especificándose la oportunidad de su ejecución sobre una base de tiempo de uso, tiempo desde la última intervención, número de golpes, número de vueltas, kilómetros recorridos, cantidad de materia prima procesada, etc.

El fabricante puede formular esas recomendaciones porque se basa en su experiencia, es decir, en el conocimiento que obtiene sobre los productos de su fabricación, por la práctica y por la observación a través de un tiempo prolongado. En ambas fuentes de información se encuentra implícito el conocimiento de la vida útil del bien. Es justamente la definición de una vida útil para los bienes y sus componentes, lo que facilita encarar el mantenimiento del tipo preventivo.

B. Mantenimiento correctivo

Se debe intervenir inmediatamente después de ocurrida una falla. Por lo general estas fallas acarrearán retrasos en la producción y en consecuencia pérdidas para la empresa.

El mantenimiento correctivo está dirigido a reducir y mejorar las condiciones insatisfactorias en maquinaria y equipos, se produce después de realizar una inspección que ha sido solicitada en cualquier momento, y se llega

a la conclusión de que es necesario cambiar algún repuesto dañado, o sea, se corrige lo dañado.

Mantenimiento correctivo de emergencia. Tanto este tipo de servicio, cuanto el correctivo programado, actúan sobre hechos ciertos y el mantenimiento consistirá en reparar la falla. El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores.

Actúan ante una emergencia (generalmente la detección de un gas combustible, implica la existencia de una concentración peligrosa en el aire ambiente, la cual es explosiva). Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad.

También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Asimismo, fallas no detectadas a tiempo, ocurridas en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso monto, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación.

Por último, con referencia al personal que ejecuta el servicio, debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato.

Mantenimiento correctivo programado: Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa muchas veces ante un hecho cierto. La diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción.

En general, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se van acumulando tareas a realizar sobre el mismo y se programa su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando a ejecutar toda tarea que no se puede realizar con el equipo en funcionamiento. Lógicamente, se aprovecha para las paradas, horas en contraturno, períodos de baja demanda, fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

Si bien muchas de las paradas son programadas, otras, son obligadas por la aparición de las fallas. Por ello, este sistema comparte casi las mismas desventajas o inconvenientes que el método anterior.

C. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es recomendable para las calderas ya que este procedimiento lógico y sistemático determina la ocurrencia de una falla que esté por presentarse dentro del un sistema.

En otras palabras, con este método, se trata de acompañar o seguir, la evolución de las futuras fallas. A través de un diagnóstico que se realiza sobre la evolución o tendencia de una o varias características mensurables y su comparación con los valores establecidos como aceptables para dichas características.

Por ejemplo, pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, el aislamiento eléctrico, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc.

Los aparatos e instrumentos a utilizar son de naturaleza variada y pueden encontrarse incorporados en los equipos de control de procesos (automáticos), a través de equipos de captura de datos o mediante la operación manual de instrumental específico. Actualmente existen aparatos de medición sumamente precisos, que permiten analizar ruidos y vibraciones, aceites aislantes o espesores de chapa, mediante las aplicaciones de la electrónica en equipos de ultrasonidos, cromatografía líquida y gaseosa, y otros métodos.

El seguimiento de estas características debe ser continuo y requiere un registro adecuado. Una de sus ventajas es que las mediciones se realizan con los equipos en marcha, por lo cual, en principio, el tiempo de paro de máquinas resulta menor.

D. Responsabilidades del departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento debe:

- a. Mantener en buen estado las calderas, las partes eléctricas del mismo al igual que el sistema de tuberías a través de planes de mantenimiento preventivo.
- b. Capacitar a los integrantes de dicho departamento a capacitarse en temas que les corresponden a través de cursos, videos y talleres.

- c. Innovar los programas de mantenimiento a fin de que no se produzcan pérdidas ni retrasos en los trabajos.
- d. Velar por el cumplimiento de las normas de seguridad industrial por medio del reglamento interno (OSHA).
- e. Llevar a cabo en conjunto con la administración y la gerencia la programación y ejecución del mantenimiento preventivo en las calderas y el sistema completo para así obtener mejores servicios en menos actividades de mantenimiento, mayor producción con menos paradas y lograr mayor confianza en el recurso humano disponible.

No se debe olvidar que la caldera es un dispositivo utilizado para generar vapor a una presión superior a la atmosférica. Las calderas se componen de un compartimiento donde se consume el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

Este funcionamiento hace que la caldera debe tener un mantenimiento, por lo anterior mencionado se debe tomar en cuenta, que los principales problemas en este tipo de circuitos son los siguientes:

- a. Aparición de corrosión en el sistema pre-caldera y caldera por la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación. Para este caso se debe aplicar la medida correctiva inmediatamente
- b. Corrosión en la línea de vapor condensado por la presencia de anhídrido carbónico debido a la descomposición térmica en caldera de carbonatos y bicarbonatos. Se debe implementar medidas para evitar ineficiencia del sistema.

Un programa de tratamiento integral a utilizar para estos sistemas es el siguiente:

- a. Prevención de la corrosión en caldera mediante la aplicación de un producto que asegura un mínimo de oxígeno. Su control se realiza mediante la determinación de sulfito residual libre en el agua de caldera debiendo estar comprendido entre 30 y 40 ppm.
- b. Prevención de la corrosión en el circuito de vapor condensado mediante la aplicación de un producto para neutralizar el bajo pH del condensado. Su control es sencillo mediante la determinación del pH del condensado, el cual debe estar comprendido entre 8,3 - 9.
- c. Prevención de incrustaciones en el interior de la caldera mediante la aplicación de medidas correctivas para evitar incrustaciones producidas por dureza en el agua de aporte, produciendo una precipitación controlada que se elimina en la purga.

Tratamiento del agua de alimentación

Es un aspecto al cual se debe prestar la mayor atención, si se quiere preservar las calderas y obtener la generación de vapor requerida para el proceso. Se propone que el agua de alimentación para calderas, debe cumplir con los siguientes pre-tratamientos mínimos:

- a. Precipitación
- b. Filtrar
- c. Suavización
- d. Desalcalinizarla
- e. Desmineralizarla
- f. Desaireación (Química o física)

Parámetros a controlar en el agua de alimentación:

- a. **PH:** Identifica el nivel de agresividad química del agua. En las purgas el PH debe estar entre 10 y 10.5; dentro de estos valores la caldera se conserva adecuadamente. Si el PH es mayor que 11 comienza un fenómeno indeseable, que es la fragilidad cáustica.
- b. **Dureza total:** Indica la cantidad de sales minerales disueltas en el agua; una alta dureza en el agua de alimentación causa la formación de depósitos muy duros, sobre las superficies de calentamiento y evaporación, llamados incrustaciones que disminuyen la eficiencia de producción de vapor y originan daños por rotura de tuberías.
- c. **Sólidos disueltos:** El agua de alimentación para calderas debe ser traslúcida (baja turbidez), por consiguiente se debe contar con una planta general de tratamiento de agua cruda, que garantice una eficiente remoción de los sólidos en suspensión, causantes de una alta turbidez; al no removerlos previamente, ocasionan taponamientos en tuberías e incrustaciones dentro de la caldera.
- d. **Contenido de hierro:** El hierro presente en el agua de alimentación para calderas es corrosivo y debe eliminarse. Es necesario poner atención a este parámetro cuando el agua que se usa para la planta de beneficio primario es de pozo profundo. El hierro se elimina mediante oxidación, floculación y filtración, en la planta de tratamiento de agua cruda.
- e. **Oxígeno disuelto:** El oxígeno es otro de los enemigos de las calderas; se encuentra disuelto en el agua de alimentación y es completamente necesario retirarlo. De lo contrario produce el fenómeno conocido como "pitting" en las tuberías de evaporación dentro de las calderas, que se manifiesta como "huecos" o manchas fácilmente reconocibles.

Cuando el agua de alimentación tiene bastante oxígeno disuelto, el daño de las tuberías es muy rápido. El agua de alimentación para calderas debe tener 0.0 ppm de oxígeno disuelto. El oxígeno se retira del agua usando desaireadores, químicos o precalentando el agua.

Con la aplicación de este programa trae las siguientes ventajas:

- a. Eliminación total del oxígeno evitando su efecto corrosivo sobre el circuito.
- b. Eliminación del dióxido de carbono evitando la aparición de picaduras.
- c. Ajuste del pH en el agua de alimentación al recuperar condensado.
- d. Prevención de las incrustaciones mejorando el rendimiento energético de la caldera.
- e. Ahorro de agua, optimizando la purga en caldera.

Es muy importante que el mantenimiento de la caldera sea realizado acorde a la fecha calendarizada. Lo siguiente es una recomendación de una calendarización sobre las partes de la caldera que deben recibir mantenimiento.

El mantenimiento desempeña una gran labor ya que esta permite utilizar las calderas el mayor tiempo posible de acuerdo como se ejecuta el cuidado. Al carecerse de un buen mantenimiento de sus equipos que son los que le permiten procesar algunos de los servicios básicos, trae como consecuencia que las calderas puedan presentar fallas a corto y a largo plazo, estas fallas progresivamente afectan los objetivos de la empresa.

Por esta razón hay que tomar el mantenimiento preventivo con suma importancia, así como el correctivo y el predictivo y hacer un cronograma de sustento de las calderas para que se ejecute de la mejor manera que permita

menos paros por mantenimiento, además, hay que tener en cuenta que las personas o empleados que ejecuten este proceso estén bien preparadas y supervisadas estrictamente.

4.3.1 Mantenimiento diario

Con la implementación del mejoramiento del sistema de vapor y para el mantenimiento diario de las calderas se realiza lo siguiente:

- a. Control del ciclo de funcionamiento del quemador.
- b. Control de la bomba de alimentación.
- c. Ubicación de todos los protectores de seguridad.
- d. Control rígido de las purgas.
- e. Procedimiento en caso de falla de suministro.
- f. Tipo de frecuencia de lubricación de suministro de motores y rodamientos.
- g. Limpieza de la boquilla del quemador y del electrodo de encendido.
- h. Verificación de la temperatura de agua de alimentación.
- i. Verificación de limpieza de mallas a la entrada del aire al ventilador, filtro de aire en el compresor, filtros de combustible, área de la caldera y sus controles.
- j. Precauciones al dejar la caldera fuera de servicio, en las noches o fines de semana.
- k. Verificación de combustión.
- l. Verificación de presión, producción de vapor y consumo de combustible.

4.3.2 Mantenimiento Semanal

Para el mantenimiento semanal de las calderas se revisará lo siguiente:

- a. Funcionamiento de los niveles de agua
- b. Verificar taponamiento en las purgas
- c. Limpieza mecánica de parrillas y tubos en el pirotubo
- d. Revisión del tablero eléctrico de control

4.3.3 Mantenimiento mensual

Para el mantenimiento mensual de las calderas se debe realizar lo siguiente:

- a. Limpieza de polvo en controles eléctricos y revisión de contactos.
- b. Limpieza de filtros de las líneas de combustible, aire y vapor.
- c. Mantenimiento a todo el sistema de agua: filtros, tanques, válvulas, bomba, entre otros.
- d. Engrasar motores.
- e. Desmonte y limpieza del sistema de combustión.
- f. Verificar estado de la cámara de combustión y refractarios.
- g. Verificar estado de trampas de vapor.
- h. Limpieza cuidadosa de columna de agua.
- i. Verificar acoples y motores.
- j. Verificar asientos de válvulas y grifos.
- k. Verificar bloqueos de protección en el programador.
- l. Dependiendo del combustible incluir limpieza del sistema de circulación de gases.

Mantenimiento trimestral

Para el mantenimiento trimestral de las calderas se debe realizar lo siguiente:

- a. Chequear el funcionamiento de los niveles de agua
- b. verificación del funcionamiento del control de presión

- c. verificación de los manómetros de la caldera y la bomba del agua
- d. Verificar estado del termómetro de la chimenea
- e. verificar disparándolas manualmente las válvulas de seguridad (a la presión de cierre). **NOTA:** No se recomienda, bajo ninguna circunstancia, recalibrar las válvulas de seguridad en sitio, enviarlas a bancos de calibración especializados, para que les cambien el resorte.

Mantenimiento semestral

Para el mantenimiento semestral de las calderas se debe realizar lo siguiente:

- a. Lavado interior al lado del agua, removiendo incrustaciones y sedimentos.
- b. Verificar si hay indicios de corrosión, picadura o incrustación al lado del agua.
- c. Análisis periódico del agua.
- d. Utilizar empaques nuevos en tapas de inspección de mano y hombre.
- e. Cambiar correas de motor si es necesario. Revisar su tensión.
- f. Limpiar los tubos del lado de fuego, pues el hollín es un aislante térmico.
- g. Verificar hermeticidad de las tapas de inspección al llenar la caldera.
- h. Verificar el funcionamiento de las válvulas de seguridad.

4.3.4 Mantenimiento anual

Para el mantenimiento anual de las calderas se debe realizar lo siguiente:

- a. Cambio de empaques de la bomba de alimentación si es necesario.
- b. Mantenimiento de motores en un taller especializado. Desarmar en su totalidad con limpieza y prueba de aislamientos y bobinas.

- c. De acuerdo a un análisis del agua y las condiciones superficiales internas de la caldera, se determina si es necesario realizar una limpieza química de la caldera.

4.4 Mantenimiento de trampas de vapor

En una red de distribución de vapor, el mal funcionamiento y deterioro de las trampas de vapor o purgadores puede producir pérdidas superiores al 10% del total producido por las calderas. Es muy importante que la jefatura de mantenimiento preste la debida atención a dichos dispositivos, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- a. Selección del tipo adecuado de trampa para el servicio requerido
- b. Diseño adecuado de las tuberías de drenaje de condensado
- c. Uso de filtros de protección para las trampas
- d. Revisión periódicas del funcionamiento de trampas y limpieza de filtros
- e. Mantenimiento necesario para conservar el sistema trabajando en las condiciones óptimas.

Por otro lado, también en las válvulas de bloqueo y by-pass de las trampas puede haber fugas si éstas están en mal estado; esto es, si no cierran herméticamente o fallan en el cierre. Una sola trampa mediana trabajando defectuosamente puede tener una pérdida de vapor de unos 20 kg/h, lo cual puede significar un consumo adicional de combustible en la caldera de 0.4 gal/h o 2,800 gal/año (considerándose un rendimiento de 50 kg/gal en la caldera y una operación de 7,000 h/año).

En la red de vapor, es fácil encontrar que en algunas de ellas presentan fugas de vapor, siendo lo admisible en la práctica un margen de fallas de un 5%

como máximo. Ello puede significar pérdidas cuantiosas de dinero para la empresa por el mayor consumo de combustible. Dichas pérdidas pueden suprimirse con una pequeña inversión en mantenimiento y control, amortizable en la mayoría de los casos en menos de un mes.

Se debe comprobar el funcionamiento de las trampas de vapor, usando los métodos visual; control por mirillas en línea; control por medición de temperaturas antes y después de la trampa, lo cual debe complementarlo con otros métodos; y el método acústico. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, y algunos de ellos son más eficientes para determinado tipo de trampas que otros. En todo caso conviene muchas veces usar dos métodos para comprobar a una misma trampa.

De todas formas hay que tener en cuenta que aún la mejor trampa con un mantenimiento pobre y descuidado, dará origen a pérdidas importantes que se pueden evitar. El monitoreo de trampas permitirá conocer periódicamente el estado de las trampas y de acuerdo a ello tomar acciones preventivas o correctivas. La periodicidad del monitoreo dependerá de las horas de funcionamiento del sistema de vapor, de la presión de trabajo, del modo de operación del sistema, del diseño del mismo, etc.

Para el mantenimiento de trampas de vapor se debe implementar los criterios siguientes:

- a. Monitorización continua
- b. Medida simultanea de varios parámetros de la trampa
- c. Inspección continua del sistema
- d. Detección prematura de fallas de la trampa
- e. Evaluación del rendimiento energético de la trampa
- f. Registro continuo o histórico del funcionamiento de la trampa

- g. Reparación de la trampa sin interrupción de su operación

4.4.1 Corrección de fugas de vapor

La pérdida de calor por falta de corrección de fugas y de aislamiento térmico en las tuberías es muy común en los sistemas de vapor, por lo que se deben de corregir tan pronto sea posible, adicional a estas, parte de la tubería que transporta el vapor no tiene aislamiento térmico. Todas estas causas provocan pérdida de calor y aumento de los costos

El aislamiento térmico de tuberías conductoras de vapor y de equipos con camisas de vapor y accesorios es muy importante para lograr una eficiencia del vapor y a la vez ahorrar energía. Una tubería sin aislar o mal aislada, aparte de las pérdidas de energía, ocasiona problemas mecánicos por el incremento de condensados.

Para evitar estas consecuencias se propone corregir las fugas de vapor y aislar térmica y adecuadamente las tuberías y accesorios. Para ello se debe implementar tipos de aislantes térmicos los cuales se describen a continuación:

- a. Colocar aislantes de tipo reflector o reflectante para disminuir las pérdidas de radiación (láminas de aluminio brillante).
- b. Colocar aislantes de porosos (o esponjosos) La con el objetivo de mantener el aire atrapado en su interior. El aire encerrado en los poros queda casi absolutamente estático; esto ocurre en los materiales con poros cerrados o con muy poca movilidad en aislante.
- c. Colocar aire estanco o estático como un sistema de construcción que está basado en el mismo principio anterior: el aire quieto es un excelente aislante. Ejemplo: vidrio doble, doble pared, doble puerta, entre otros.

Los aislantes porosos o por aire estático pierden sus propiedades cuando se mojan, ya que el agua es un excelente conductor del calor. En nuestro país los aislantes más comunes en el comercio son los materiales porosos, que se aplican en forma de colchonetas, planchas, granulados, caños premoldeados, ladrillos o bien en forma de una pasta plástica. El uso de estos es de acuerdo a la factibilidad financiera de la empresa.

Se debe aplicar los criterios siguientes al seleccionar un material aislante:

- a. Precio del aislante y costo de la instalación.
- b. Conductividad térmica.
- c. Resistencia mecánica.
- d. Método de aplicación y forma de la pieza que se aísla.
- e. Rango de temperatura de trabajo (combustibilidad del aislante).
- f. Comprobar si es necesario remover periódicamente el aislante para inspecciones y reparaciones del equipo.
- g. Condiciones ambientales del lugar de operación.

Cuando el aislamiento a lo largo del tiempo se deteriora, pierde su capacidad de retener calor, y por lo tanto se estaría generando una menor cantidad de vapor que al comienzo.

4.5 Seguridad en las trampas de vapor

Los diferentes requerimientos de cada aplicación, ya sea a presión de vapor constante o variable, determinan que tipo de trampa debe especificarse. Factores que deben considerarse en la selección incluyen la capacidad para lidiar con aire a presiones diferenciales bajas.

Además de implementar reglamentos especiales sobre seguridad. Se debe dotar al personal de equipo necesario a efecto de mantener la protección y la seguridad como lo son:

- a. Guantes
- b. Mascarillas
- c. Overol
- d. Lentes
- e. Casco
- f. Botas

Los valores de factor de seguridad aseguran una operación sin problemas, en la siguiente página se muestra la tabla que describe los factores de seguridad de las trampas.

Tabla V Selección de trampas y factores de seguridad

Aplicación	1ra. Opción	2da. Opción	Factor de seguridad
Cabezal de la caldera (Sobrecalentado)	IBLV	F&T	1.5
	IBCV - Pulido	Water	Carga de Arranque
Tuberías principales de vapor & Ramels de la tuberías (sin congelamiento) (Congelamiento)	IB (CV si la presión varía)	F&T	2; si estaría al final de la tubería, antes de la válvula, o en un ramal
	IB	Termostática o disco	(Mismo que arriba)
Separador de vapor Calidad del vapor del 90% o menos	IBLV	DC	3
	DC		3
Venas de vapor	IB	Termostática o disco	2
Unidades de calentamiento y de manejo de aire (presión constante) (Presión variable 0 -1 bar) (Presión variable 1 -2 bar) (Presión variable mayor de 2 bar)	IBLV	F&T	3
	F&T	IBLV	2, A presión diferencial de 0.034 bar
	F&T	IBLV	2, A presión diferencial de 0.14 bar
	F&T	IBLV	3, a la mita de la máxima presión diferencial
Radiadores aletados & Tubos serpentín (presión constante) (Presión variable)	IB	Termostática	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido
	F&T	IB	2, normalmente; 3, para calentamiento rápido

Continua

Calentadores de aire de proceso (presión constante)	IB	F&T	2
(Presión variable)	F&T	IBLV	3, a la mitad de la máxima presión diferencial
Máquina de absorción e vapor (Enfriador)	F&T	IB, con ventilador externo	2, a presión diferencial de 0.034 bar
Intercambiadores de calor de tubo y coraza & serpentines de tubo y estampados (presión constante)	IB	DC o F&T	2
(Presión variable)	F&T	DC o IBT (IBLV, a más de 2 bar)	menor de 1 bar: 2, a 0.034 bar; 1-2 bar: 2, a 0.14 bar mayor 2 bar: 3, a la mitad de la máxima presión diferencial
Evaporadores de un paso y de pasos múltiples	DC	IBLV o F&T	3, con cargas de 22,700 Kg/hr.
Ollas con cámara de vapor (drenado por gravedad)	IBLV	F&T o Termostática	3
(drenado por sifón)	DC	IBLV	3
Secadoras rotatorias	DC	IBLV	3, para DC; 8, para IB a presión constante; 10, para IB presión variable
Tanques de flasheo	IBLV	DC o F&T	3

IBLV = Balde Invertido con ventilador grande
 IBCV = Balde Invertido con válvula check Interna
 IBT = Balde Invertido con ventilador térmico
 F&T = Flotador y termostática
 DC = Controlador diferencial de condensado

FUENTE: www.amstrong-intl.com/products/traps

4.6 Mantenimiento de generadores de vapor

Con un programa de mantenimiento bien planteado, se evita interrupciones innecesarias o reparaciones costosas. Para ello debe establecerse un programa de inspección, junto con una lista de procedimientos. Es recomendable contar con un registro de las actividades de las calderas para un mantenimiento diario, semanal, mensual, trimestral, semestral o anual.

- a. **Inspección permitida:** Se debe de permitir solamente al personal autorizado el ingreso a la sala de calderas. Se requiere de inspección periódica y mantenimiento de todos los dispositivos de control que entre en acción cuando el agua alcanza un nivel bajo.

- b. **Inspección Periódica:** Se debe inspeccionar por lo menos una vez al mes, y verificar frecuentemente el funcionamiento cerrando la llave de alimentación de agua cuando la caldera está funcionando, permitiendo que descienda el nivel del agua a un régimen normal.

- c. **Inspección del quemador de aceite:** El quemador debe ser inspeccionado para ver si han ocurrido daños debido a una combustión mal ajustada. El sello entre la cubierta del quemador y el recubrimiento del refractario es importante y se debe inspeccionar periódicamente y hacer las reparaciones necesarias.

- d. **Inspección del quemador de gas:** El quemador de gas requiere poco mantenimiento después de examinar los componentes del quemador para verificar si hay indicios de daños debidos a una combustión mal ajustada. Verificar periódicamente que el sello entre el extremo del quemador y el refractario del horno esté en buenas condiciones. Examinar los electrodos para verificar que no tengan picadura o depósitos de combustión.

- e. **Válvula de gas motorizada:** Esta cuenta con el mecanismo de operación sumergido en aceite y se diseña par que sea perfectamente hermética y no requiere de mucho mantenimiento. Mantener las partes externas limpias, especialmente con el vástago entre el operador y la válvula. El collarín es de tipo anillo por lo que un vástago mordido, rayado o dañado, puede resultar en goteo. Si se observa aceite en la base del operador o si el goteo ocurre, habría que reemplazar los anillos que están defectuosos.

- f. **Resorte de la leva:** Se debe inspeccionarla frecuentemente para verificar si existe desgaste, ralladuras o distorsión, si alguna de estas está presente es preciso reemplazar el resorte inmediatamente para evitar la posibilidad de quebrarse durante el uso.

- g. **Impulsor:** La colocación de las aletas del impulsor en relación a la cubierta de la admisión de aire, tiene suma importancia para lograr la potencia de rendimiento del impulsor.

- h. **Válvulas de seguridad y escape:** Estas Válvulas y la tubería de escape deben ser instaladas de conformidad con todos los códigos aplicables y deben estar apoyados para evitar que exista tensión sobre la válvula.

- i. **Bomba de aire y su sistema de lubricación:** La vida media de la bomba, depende de una provisión adecuada de la limpieza y frescura del aceite lubricante. El nivel del aceite en el tanque receptor de aire-aceite, debe ser observado atentamente. La falta de aceite dañará la bomba. El nivel del aceite lubricante debe ser visible en todo momento, no hay un nivel específico requerido con tal de que se pueda ver el aceite.

- j. **Refractario:** Toda caldera es expedida con un refractario completamente instalado, este consiste en la cabeza delantera, la puerta interior y el recubrimiento del hogar. El mantenimiento normal exige poco tiempo o gasto pero prolongada vida útil.

CONCLUSIONES

1. Los conceptos y principios de los equipos que generan vapor, así como el sistema de trampas fortalecen los conocimientos y su aplicación en la vida laboral para un buen funcionamiento del sistema de vapor.
2. Los componentes de un sistema de vapor, así como los tipos de dispositivos tienen gran importancia en la detección precoz de cualquier fuga y, consecuentemente, la reducción económica de los costos de operación.
3. La situación actual de la empresa permitió analizar el sistema de tuberías y trampas de vapor para, luego, proponer soluciones para optimizar la generación, distribución y utilización del vapor.
4. Los programas de mantenimiento preventivo y correctivo evitan interrupciones innecesarias o reparaciones costosas y como propuesta de solución para el sistema de vapor logrando así maximizar la eficiencia.
5. El mejoramiento del sistema de distribución y utilización del vapor mantiene una producción sin interrupciones logrando aumentar la productividad y, a la vez, ahorro de energía.

RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de los conceptos y principios de los equipos que generan vapor, así como el sistema de trampas como una herramienta en la administración del sistema de vapor.
2. Dar mantenimiento a los componentes del sistema de vapor así como a los dispositivos que detectan fugas para dar seguridad al personal de mantenimiento y mejorar la eficiencia del sistema.
3. Hacer inspecciones del sistema general en su generación, distribución y utilización del vapor a efecto de mantener un buen balance de vapor con ello evitar deficiencias del sistema.
4. Monitorear la operatividad del sistema de vapor haciendo uso de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo cuantificando los problemas encontrados.
5. Mejorar el sistema de distribución y utilización del vapor mediante la supervisión las trampas, fugas en las tuberías y en las válvulas, implementando programas de capacitación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **García Ferrer, Carlos Alberto** Vapor de Agua: Teoría y aplicaciones. Editorial Limusa, Mexico: 1998.
2. **Severns, W. H** Producción de Energía Mediante el vapor de Agua, el aire y gases. Editorial Reverté S.A. 1997.
3. **Gooding Garavito, Nestor** Operaciones Unitarias II: Manual de Prácticas 1. Editorial. Santafé de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 1998.
4. **Shield, Carl** Calderas: Tipos, Características y sus funciones. México: Continental, 1998.
5. **Perry, Robert; Green, Don y Maloney, James Perry** Manual del Ingeniero Químico .6ed. México: Mc Graw Hill, 1998.
6. **Mc.Cabe, Warren; Smith, Julian; Harriott, Peter** Operaciones unitarias en ingeniería química. Mc Graw Hill, 1997, cuarta edición.
7. www.armstrong-intl.com/products/traps, Octubre 2005
8. **Cengel, Yunnis Boles** Termodinámica: México, Editorial Continental S.A., 1990.
9. Normas DIN Calderas de Vapor: Bilbao Editorial Balboza.
10. **Moreno, R. Eduardo** Recopilación de Detalles Típicos para Instalaciones Industriales de vapor. Caracas, 1989.

