



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

**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN  
Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

**Jimmy Jo Chon**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN  
Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JIMMY JO CHON**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de abril de 2014.

  
**Jimmy Jo Chon**



Guatemala, 25 de mayo de 2015  
REF.EPS.DOC.392.05.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.


Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jimmy Jo Chon** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200615099, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zapata  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo  
EESZ/ra



Guatemala, 25 de mayo de 2015  
REF.EPS.D.260.05.15

Ing. Julio César Campos Paiz  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jimmy Jo Chon** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano  
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



# USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.183.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**. Del estudiante **Jimmy Jo Chon**, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

MA. Ing. Julio Cesar Campos Paiz

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, junio de 2015.



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.350.2015

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: **EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN Y USO DE VAPOR EN UNA INDUSTRIA ALIMENTICIA**, presentado por el estudiante universitario: **Jimmy Jo Chon**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Pedro Antonio Aguilar P  
Decano



Guatemala, julio de 2015

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por guiarme en el buen camino de la vida y alcanzar el éxito.
<b>Mis padres</b>	Willy Jo Chang y Yolanda Chon de Jo, por alentarme a cumplir mis metas.
<b>Mis hermanos</b>	Jenny, Katty y Billy Jo, por sus sabios consejos e incondicional cariño.
<b>Mis sobrinas</b>	Lindsay y Sabinne Wong, que a pesar de su corta edad me han enseñado a vivir con felicidad.
<b>Diana Méndez</b>	Por entregarme su cariño incondicional y aprecio todo el tiempo.
<b>Mis amigos</b>	Por los gratos momentos que hemos vivido juntos y estar allí cuando los necesito.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la oportunidad de la vida y guiarme hacia el éxito.
<b>Mis padres</b>	Willy Jo Chang y Yolanda Chon de Jo, por siempre creer en mí y tenerme paciencia.
<b>Mis hermanos</b>	Jenny, Katty y Billy Jo, por los ánimos y consejos que siempre me han brindado.
<b>Diana Méndez</b>	Por alentarme siempre a seguir adelante a pesar de los obstáculos.
<b>Ing. Edson González</b>	Por brindarme la oportunidad de seguir aprendiendo y compartir su conocimiento.
<b>Ing. Osman Ordoñez</b>	Por compartir su información y experiencia.
<b>Luis Castellanos</b>	Por su amistad sincera y su apoyo al inicio de este trabajo de graduación.

Y aquellas personas que estuvieron de una manera u otra en el desarrollo de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTADO DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Historia de la empresa.....	1
1.2. Descripción del proceso de producción.....	1
1.3. Generadores de vapor.....	3
1.4. Combustible bunker C.....	4
1.5. Tratamiento para agua de caldera.....	5
1.6. Suavizadores.....	8
1.7. Caldera.....	10
1.8. Calentamiento de equipos de proceso.....	11
1.9. Maneras de calentar con vapor saturado.....	11
1.10. Aplicaciones del vapor saturado.....	12
1.11. Clasificación de las calderas.....	12
1.12. Clasificación según la circulación del fluido en la caldera.....	12
1.12.1. Calderas acuotubulares.....	12
1.12.2. Calderas pirotubulares.....	13
1.13. Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera.....	15
1.14. Clasificación de acuerdo a la producción de vapor.....	16
1.15. Clasificación de acuerdo al combustible utilizado.....	16

1.15.1.	Calderas de combustibles líquidos.....	17
1.15.2.	Calderas de combustible gaseosos .....	18
1.15.3.	Calderas de combustibles sólidos.....	19
1.16.	Componentes de la caldera .....	20
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN: AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA..	25
2.1	Bombas recolectoras de condensado .....	26
2.2.	Análisis del ahorro del retorno de condensado .....	28
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL: EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y USO DE VAPOR.....	35
3.1.	Tipos de intercambiadores de calor .....	35
3.1.1.	Tubos concéntricos o doble tubo .....	35
3.1.2.	Coraza y tubos .....	38
3.1.3.	Placas .....	43
3.2	Marmita .....	44
3.3.	Autoclaves.....	45
3.4.	Aislamiento térmico.....	48
3.5.	Vapor flash .....	49
3.6.	Cálculos del consumo de vapor dentro del sistema de vapor ..	50
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES .....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Suavizador de agua .....	10
2.	Caldera acuatubular.....	13
3.	Caldera piro-tubular.....	15
4.	Componentes de una caldera .....	23
5.	Tubos concéntricos .....	35
6.	Direcciones de fluido.....	36
7.	Tubo con aletas transversales .....	37
8.	Tubo con aletas longitudinales.....	38
9.	Intercambiador de calor coraza y tubo 1-2.....	38
10.	Intercambiador de calor coraza y tubo 1-4.....	39
11.	Condensador 2-4 .....	39
12.	Placas deflectoras de un intercambiador de calor .....	41
13.	Ajuste cuadrado .....	42
14.	Ajuste cuadrado girado .....	42
15.	Ajuste triangular .....	43
16.	Tipos de placas en un intercambiador de placas .....	44
17.	Marmita .....	45

### TABLAS

I.	Bombas de condensado .....	28
II.	Ahorro por retorno de condensado .....	32
III.	Pérdida de vapor por orificio .....	51

IV.	Pérdidas de vapor por orificio en la planta .....	52
V.	Pérdida de calor por tuberías no aisladas en la planta.....	53
VI.	Resumen de consumo de vapor por línea.....	55

## LISTADO DE SÍMBOLOS

<b>Lb/hr</b>	Caudal de vapor medido en libras por hora
<b>Ø</b>	Diámetro de tubería
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo, subproducto del petróleo
<b>BHP</b>	Potencia de caldera en sistema inglés ( <i>boiler horse power</i> )
<b>Psi</b>	Presión manométrica en sistema inglés (libras por pulgada cuadrada)





## GLOSARIO

<b>Agua dura</b>	Aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio.
<b>Agua suave</b>	Agua en la que se encuentran disueltas mínimas cantidades de sales.
<b>Aislante térmico</b>	Barrera de paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualar su temperatura.
<b>Bomba de condensado</b>	Bombas especiales con las que se extrae el agua de condensación en caso que no salga por el desnivel natural.
<b>Condensado</b>	Producto que resulta de un proceso físico que pasa de una forma gaseosa a forma líquida.
<b>Deareador</b>	Equipo que remueve $O_2$ del agua de alimentación de la caldera.
<b>Intercambiador de calor</b>	Dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera.

<b>Suavizador de agua</b>	Tipo especial de filtro que quita el calcio y el magnesio en el agua dura usando cuentas de plástico que se limpia a sí mismo periódicamente por un proceso llamado regeneración.
<b>Trampa de vapor</b>	Válvula automática que filtra el vapor condensado y gases no condensables como lo es el aire, sin dejar escapar al vapor.
<b>Vapor flash</b>	Vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.
<b>Vapor saturado</b>	Se presenta a presiones y temperaturas en las cuales el vapor y el agua coexistan juntos, ocurre cuando el rango de vaporización del agua es igual al rango de condensación.

## RESUMEN

El presente informe de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), el cual se realizó dentro de una industria de alimentos, contiene la información desde la generación del vapor hasta determinar cómo es utilizado el mismo en los procesos térmicos y de pasteurización necesaria para la elaboración de los alimentos procesados y bebidas no carbonatadas en las diferentes presentaciones que se comercializan.

Debido a las características fáciles del vapor para transportarlo a grandes distancias y que tiene un alto contenido de poder energético, es utilizado en las industrias como medio de energía y para realizar procesos térmicos. Entre otras ventajas que se tiene al utilizarlo es su relativo bajo costo de producción, ya que únicamente se necesita un equipo que caliente el agua hasta convertirla en vapor, para luego ser transportada por la tubería de la red de distribución.

En la empresa se necesita una presión de trabajo en rango medio, por ello se utilizan calderas pirotubulares con características diferentes para generar el vapor.

También se abarca el retorno de condensado que se genera en las trampas de vapor y bombas de condensado en las líneas de producción, ya que de esta manera se ahorra tanto económica como energéticamente en la generación del mismo.



# OBJETIVOS

## General

Efectuar una evaluación sobre la cantidad de vapor que se necesita y así generar de manera óptima los procesos de transferencia de calor que se requieran dentro de la industria de alimentos.

## Específicos

1. Determinar el gasto másico teórico del vapor para obtener un aproximado de la cantidad que se produce dentro de las calderas.
2. Cuantificar el vapor que se necesita para realizar los procesos de transferencia de calor.
3. Evaluar y conocer cómo se está usando el vapor generado.
4. Identificar los potenciales puntos donde podrían presentarse fugas de vapor vivo.
5. Proponer los cambios adecuados para que el vapor generado se utilice de una manera más óptima.



## INTRODUCCIÓN

El vapor que se genera para la industria alimenticia es utilizada, en su mayoría, para realizar los procesos de transferencia de calor en los productos, tales como los jugos, néctares de frutas, productos de tomate, frijoles refritos, entre otros. Dado que los productos tienen una vida útil prolongada se debe de utilizar vapor a temperatura media-alta, para eliminar los posibles patógenos que se encuentran en el producto en proceso y así mantener la inocuidad del mismo.

El vapor es generado por medio de calderas pirotubulares, las cuales son puestas en funcionamiento según sea la demanda que requiera la producción. Este es distribuido por toda la planta por medio de tubos de diferente diámetro, ya que con esto cambia el caudal, para que sea utilizado en los diferentes equipos de transferencia de calor.

La evaluación del sistema de vapor dentro de una industria se realiza periódicamente, dada la importancia de los reconocimientos que se necesitan hacer, para evaluar si los equipos y tuberías están en óptimas condiciones para operar. Luego de la evaluación se determina dónde es posible optimizar el consumo de vapor, ya sea en el consumo energético o en la transferencia de calor.





# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Historia de la empresa**

Todo empezó en los años veinte, en el corazón del famoso Valle Central de California, la más rica y exuberante región agrícola del mundo. Allí se comenzó con el propósito de producir bebidas con sabor fresco para los hogares de la región. En los años treinta, la compañía introdujo los néctares. Las nuevas bebidas fueron un éxito instantáneo en California, donde la fruta, el sol y la naturaleza son una forma de vida.

De ser localmente producido y comercializado, la empresa se expandió de manera que sus bebidas podían ser disfrutadas en otros estados del país. Posteriormente, a finales de la década de los cincuenta, la empresa abrió una subsidiaria en Guatemala, que años más tarde sería vendida para convertirse en la industrias que es ahora.

## **1.2. Descripción del proceso de producción**

Néctar, en botánica, se denomina a un líquido rico en azúcar producido por las flores de las plantas. La palabra néctar se deriva del latín *néctar* Bebida de los Dioses, que a su vez tiene su origen en el griego *νέκταρ* (néktar). El más antiguo uso registrado de su significado actual data del año 1609 y significa dulce líquido en las flores.

La empresa continúa su rica tradición de ofrecer productos naturales de alta calidad, con base en frutas, sin preservantes ni colorantes artificiales,

productos saludables y nutritivos que ofrecen a toda la familia, y que contribuyen a una mejor calidad de vida para nuestros consumidores.

La empresa basó su portafolio inicial en el éxito obtenido con sus néctares en California, Estados Unidos, pero rápido diversificó a nuevos productos. Siempre enfocado en ofrecer a los consumidores centroamericanos bebidas y alimentos naturales con base en frutas.

Durante los próximos treinta años, la empresa progresó significativamente desarrollando marcas exitosas, innovando y creando nuevos productos que cumplieran los requerimientos de calidad y expectativas de los consumidores centroamericanos, siempre apegado a su compromiso de ofrecer productos naturales y saludables.

En Guatemala se importaba la mayoría de los productos enlatados que se consumían en el país. Debido a esta necesidad, nace esta empresa agroindustrial.

Fabricante de alimentos procesados y bebidas no carbonatadas de la más alta calidad, líder en el área centroamericana. Se procesan jugos, néctares de frutas, productos de tomate (kétchup, salsas, pastas y purés), frijoles refritos y vegetales varios (maíz, arvejas y otros). Adicionalmente, las instalaciones y experiencia permiten desarrollar productos alimenticios para otras compañías.

En el 2006, consolida su posición en el mercado de bebidas en Centroamérica y El Caribe, y potencia su exitoso portafolio de alimentos, teniendo acceso a importantes fuentes de capital para modernizar su planta productiva en Guatemala.

Desde entonces se convirtió en una empresa pujante, que siempre está en la búsqueda de productos nuevos que cumplan los requerimientos de calidad y expectativas de los consumidores.

Sus productos son distribuidos en Centroamérica, y los productos alimenticios son exportados a los mercados hispanos de Estados Unidos. El crecimiento se ha contribuido de manera importante al desarrollo de nuestro país, ya que además de constituirse como la mayor empresa procesadora de alimentos a nivel centroamericano, es una fuente constante de trabajo para miles de guatemaltecos que día a día, cultivan, producen y comercializan los productos de una prominente empresa.

La exitosa visión de negocios de la industria alimenticia crece significativamente su presencia en Norteamérica, apalancado principalmente en su marca líder en alimento.

Esta empresa continúa ofreciendo a las familias de la región los mejores productos naturales, hechos con base en frutas, sin preservantes ni colorantes artificiales, productos saludables y nutritivos que se ofrecen a toda la familia, y que contribuyen a una mejor calidad de vida para sus consumidores.

### **1.3. Generadores de vapor**

En la industria alimenticia se necesita generar vapor en presiones medias, para su uso en los procesos de producción tales como los procesos térmicos, pasteurización, cocción y demás. Es por esto que se necesitan generadores de vapor, por lo tanto se emplean 2 calderas pirotubulares de 600 BHP y una de 800 BHP. Para generar el vapor, las calderas necesitan de los insumos para operar, siendo estos el combustible bunker, agua suavizada, electricidad, aire

comprimido, gas licuado de petróleo (GLP), y otros. En este reporte se analizará, únicamente para fines prácticos, el combustible bunker y el agua suavizada, ya que son los insumos más importantes y que se están utilizando la mayoría del tiempo que está en funcionamiento la caldera.

#### **1.4. Combustible bunker C**

El bunker es un combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente tiene un precio bajo por esa condición (residuo). Es por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante, como las aplicaciones navales, la generación eléctrica, hornos de precalentamiento de palanquilla en las acerías, entre otras.

Suele contener una presencia importante de asfáltenos, los cuales hacen indispensable su atomización para encenderlo. Aunque dependiendo de la calidad de la destilación y la fecha de elaboración, se enciende sin realizar este proceso, pero indudablemente la importante generación de humos, obliga por condiciones medioambientales, a realizar el proceso antes indicado. Usualmente este atomizado va acompañado o asistido de ventiladores, que ayudan a una mejor combustión del bunker. Actualmente se ha realizado un importante esfuerzo de mejoramiento en los sistemas de combustión, con el objeto de mejorar la combustión del mismo. Generalmente se precalienta con las gases residuales, producto de la combustión, optimizándola de esta manera, identificando la colocación de aditivos o elemento magnéticos que ordenan las partículas para su mejor combustión. Sin embargo lo que primero se debe hacer según las Buenas Prácticas de Ingeniería es disminuir las pérdidas de calor en el volumen de control; con este primer paso se llega a disminuir los costos en el

rubro combustible, en hasta un 30 % en calderas y hornos que consumen bunker.

Es de especial importancia el control de la viscosidad del bunker, la cual debe ser de aproximadamente 300 SSF a 50 °C, así como la ausencia de agua, ya que esta en combinación, con el azufre que normalmente viene en el combustible, produce la denominada corrosión en frío la cual no es otra cosa que la formación de ácido sulfúrico y sulfhídrico, dentro de los tubos de la maquinaria que está usando este tipo de combustibles.

El poder calórico del bunker es una función directa del crudo de origen pero se establece un promedio de 76 667 Kcal/Kg. Suele ser una práctica común un proceso de filtrado de material articulado previo al uso de los combustibles residuales. Este tipo de filtrado pretende separar elementos tales como agua, vanadio y sodio que a temperaturas aproximadas de 700 °C produce corrosión en caliente. Usualmente esto se logra mediante el uso de filtros y centrifugas que logran dichas separación con la ayuda de la fuerza del mismo nombre. Evidentemente se logra también esta separación del agua dejando en reposo el bunker en un tanque pero el tiempo de separación es muy lento.

### **1.5. Tratamiento para agua de caldera**

El tratamiento del agua de una caldera de vapor o agua caliente es fundamental para asegurar una larga vida útil libre de problemas operacionales, reparaciones de importancia y accidentes.

El objetivo principal del tratamiento de agua es evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y agua de la caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas, que definen los límites recomendados para los parámetros involucrados en el tratamiento del agua.

Los principales parámetros que se deben tomar en consideración en el tratamiento del agua de una caldera son los siguientes:

- pH: representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- Dureza: especialmente la del agua se cuantifica en cantidad de iones de calcio y magnesio que esta contiene, favoreciendo la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- Oxígeno: favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- Hierro y cobre: forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se utilizan filtros para remover estas sustancias.

- Dióxido de carbono: al igual que el oxígeno, favorece la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno. La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El  $\text{CO}_2$  se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.
- Aceite: favorece a la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- Fosfato: se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- Sólidos disueltos: la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en el agua.
- Sólidos en suspensión: representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.
- Secuestrantes de oxígeno: corresponden a productos químicos (sulfitos, hidracina, hidroquinona, y otros) utilizados para remover el oxígeno residual del agua.
- Sílice: está presente en el agua de alimentación, forma incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).

- Alcalinidad: representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- Conductividad: controla la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

### **1.6. Suavizadores**

Son los encargados de eliminar el exceso de sales y minerales en el agua evitando así las incrustaciones de sarro o de óxido en tuberías, calentadores, torres de enfriamiento o cualquier superficie que entre en contacto con este tipo de agua.

Los suavizadores se usan para diferentes aplicaciones, como por ejemplo: residenciales, comerciales e industriales

- Tipos de suavizadores: el agua dura tiene en su composición un nivel alto de minerales y sales que afectan a tuberías, desagües y cañerías y en algunas ocasiones perjudica la salud de quienes usan y consumen dicha agua.

Las tuberías dañadas por el flujo constante de agua dura presentan por lo general manchas de óxido e incrustaciones de sarro.

Para suavizar el agua y de esta manera contrarrestar los daños ocasionados en las tuberías es necesario llevar a cabo un procedimiento químico, mecánico y eléctrico respaldado por algunos suavizadores.



Dentro de la gama de suavizadores que existen en la industria, se encuentran cuatro principales tipos:

- Suavizadores catalíticos: con el uso de aleaciones especiales de metales y con el cambio de presión y turbulencia a los que se somete el agua dura se aumenta el pH y esta a su vez induce la precipitación de las sales y minerales, formando con ellos cristales que son arrasados por la corriente del agua, evitando su incrustación en las tuberías.
- Suavizadores mecánicos: utilizan membranas semipermeables, que al ser sujetas a altas presiones, permiten únicamente el paso del agua dejando las sales y minerales en las membranas. Uno de los principales usos de los suavizadores mecánicos es en la purificación del agua para beber.
- Suavizadores químicos: el agua se hace fluir a través de dos roscas que tienen un sentido inverso a las que se les llama Rácor, por lo tanto, el agua fluye por el Rácor de zeolita, sustituyendo las sales y minerales por sodio o potasio, logrando así, la eliminación de incrustaciones y manchas de óxido.
- Suavizadores eléctricos: este método somete a las tuberías a un campo magnético que altera la composición química de las sales y minerales, manteniéndolas flotando y evitando de esa manera que se incrusten, el funcionamiento de este método depende tanto del diámetro de la tubería, la composición química y demás elementos que sería necesario ajustar dependiendo de las necesidades.

Figura 1. **Suavizador de agua**



Fuente: *Suavizadores*. <http://aguaycombustion.com>. Consulta: 7 de noviembre de 2014.

### **1.7. Caldera**

Una caldera es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión, como se indicó al inicio, no puede aumentar de manera desmesurada, ya que debe permanecer constante por lo que se controla mediante el escape de gases de combustión y la salida del vapor formado.

Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, están construidas con metales altamente resistentes a presiones altas, como el acero laminado.

Las calderas se clasifican por su diseño en pirotubulares o acuotubulares. Sin embargo, son clasificadas desde otros aspectos, que incluyen, el tipo de materiales de que están construidos, su aplicación, la forma de toma de aire,

el tipo de combustible que utilizan, la presión con que operan o el fluido portador de calor que emplean.

### **1.8. Calentamiento de equipos de proceso**

Uno o más calderos proporcionan el vapor necesario para usarlo en las máquinas y equipos de la planta en el proceso de calentamiento. La combustión siempre produce material de desecho hollín, cenizas, humo.

Las trampas de vapor son dispositivos que se colocan después de un equipo para separar el vapor húmedo del vapor saturado. Esta agua caliente se denomina condensada, el mismo retorna al caldero.

### **1.9. Maneras de calentar con vapor saturado**

Entre las diferentes formas que es utilizado el vapor para calentar el material se encuentran las siguientes maneras:

- Vapor directo: Inyección directa del vapor al material. Se emplea en lugares donde el condensado no es problema.
- Vapor indirecto: se realiza por medio de chaquetas, serpentines intercambiadores. Transmite calor por las paredes del recipiente al fluido paredes, máquinas. El vapor y el condensado no entran en contacto con el material a calentar.

## **1.10. Aplicaciones del vapor saturado**

El vapor de agua generado por un caldero tiene múltiples aplicaciones, dependiendo de su presión, temperatura y caudal son:

- Calentamiento de maquinaria y equipos del proceso
- Generación de fuerza motriz mecánica, por máquinas de vapor
- Generación de fuerza motriz mecánica por turbinas
- Generación de energía eléctrica por turbinas
- Otros usos menores

## **1.11. Clasificación de las calderas**

Se clasifican según diversos criterios, relacionados con la disposición de los fluidos y su circulación, el mecanismo de transmisión de calor dominante, aspectos estructurales, modo de intercambio de calor, la forma del quemado del combustible, forma de alimentación del agua y otros muchos factores.

## **1.12. Clasificación según la circulación del fluido en la caldera**

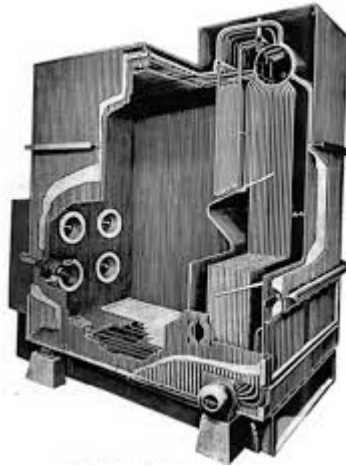
Dependiendo del uso que se le dé a la caldera dentro de la industria, se debe optar por cualquiera de estas dos categorías:

### **1.12.1. Calderas acuotubulares**

Por dentro de tubos circula el agua y la mezcla de agua y vapor. Por fuera, generalmente en flujo cruzado, intercambian calor los humos productos de la combustión. En este tipo de calderas además el hogar (recinto donde se produce la combustión) está conformado por paredes de tubos de agua. En ellas el intercambio es básicamente por radiación desde la llama.

En este tipo de calderas es el agua o fluido térmico que se pretende calentar, circulando por el interior de los tubos que conforman la cámara de combustión y que están inmersos entre los gases o llamas producidas por la combustión. El vapor o agua caliente se genera dentro de estos tubos. Existen dos tipos de agrupaciones de tubos, de subida y de bajada que se comunican entre sí en dos domos.

Figura 2. **Caldera acuaturbular**



Fuente: *Calderas*. <https://metalurgiaunmsm.wordpress.com/tag/calderas/>. Consulta: 7 de noviembre de 2014.

### **1.12.2. Calderas pirotubulares**

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

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

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

Su rendimiento global esperado a lo largo de su vida útil no supera más del 65 % en el mejor de los casos. Este tipo de generadores, por su diseño no admiten presiones de trabajo elevadas, más allá de las dos o tres atmósferas; son de construcción sencilla y disponen de moderada superficie de intercambio, por lo no se utilizan para elevadas producciones de vapor.

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

Figura 3. **Caldera pirotubular**



Fuente: *Calderas*. <http://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/pirotubulares>.  
Consulta: 7 de noviembre de 2014.

### **1.13. Clasificación de acuerdo a la presión de trabajo de la caldera**

Entre los factores más importantes para determinar qué caldera utilizar, se debe conocer cuál será la presión de operación que demande la industria o las actividades en las que se utilizará el vapor.

- Calderas de baja presión: calderas que producen vapor a baja presión, hasta unos 4 o 5 kg/cm<sup>2</sup>. Este rango de presiones es más común en las calderas de agua caliente que en las calderas que generan vapor.
- Calderas de media presión: producen vapor hasta aproximadamente 20 kg/cm<sup>2</sup>. Generalmente vapor saturado utilizadas en la industria en general.
- Calderas de alta presión: asociadas a ciclos de potencia trabajan con presiones de 20 kg/cm<sup>2</sup> hasta presiones cercanas a la crítica.

- Calderas supercríticas: son calderas que trabajan con presiones superiores a la crítica: 225,56 atm y 374,15 °C. Utilizadas en grandes plantas de generación de energía eléctrica, en Estados Unidos y en algunos países de Europa, también hay algunas en Japón.

#### **1.14. Clasificación de acuerdo a la producción de vapor**

Dependiendo del tamaño de la caldera, así será la cantidad de vapor que sea generado por la misma.

- Calderas chicas: producen hasta 1 o 2 toneladas de vapor saturado por hora.
- Calderas medianas: producciones de hasta aproximadamente 20 toneladas de vapor por hora. Las calderas chicas y medianas casi en su totalidad son calderas humotubulares de baja y media presión.
- Calderas grandes: calderas que producen desde 20 toneladas de vapor por hora, siendo normal encontrar producciones de 500 y 600 toneladas por hora. Generalmente vapor sobrecalentado, siendo calderas acuotubulares.

#### **1.15. Clasificación de acuerdo al combustible utilizado**

Dado que existen gran cantidad de combustibles para la alimentación de la caldera, se debe considerar cual es el más abundante y accesible para la industria.



### **1.15.1. Calderas de combustibles líquidos**

Se fabrican generadores de vapor de todo tipo y tamaño que utilizan combustibles líquidos.

Requieren de instalaciones de almacenaje y tanques de servicio, de elementos de precalentamiento del combustible y de sistemas de bombeo y transporte. La viscosidad de estos combustibles varía desde 30 – 40 cSt (100 °C) en los combustibles de baja viscosidad hasta 700 cSt (100 °C) y más para combustibles de alta viscosidad, como los utilizados en sistemas de generación eléctrica.

En las plantas industriales en general se utilizan combustibles de viscosidad del orden de 380 - 450 cSt (100 °C). Es normal tener que precalentarlos a 30 – 40 °C para reducir su viscosidad y bombearlos hasta los quemadores.

Para una buena atomización del combustible en quemadores que no utilicen vapor para atomizar se requiere una viscosidad de 25 a 30 cSt (100 °C), y utilizando atomización con vapor se pueden manejar viscosidades entre 55 y 70 cSt (100 °C). Por lo tanto es necesario precalentar el combustible a temperaturas desde 80 a 130 °C en el quemador.

En unidades grandes es común arrancar con un combustible de baja viscosidad y luego utilizar uno más viscoso.

Los quemadores que utilizan combustibles líquidos se instalan generalmente horizontales. Hay algún tipo de quemadores de ángulo regulable para variar el intercambio por radiación en el hogar.

La turbulencia del aire que entra al quemador es importante, para obtener una correcta combustión y un largo de llama apropiado, de tal manera que no dañe las paredes de refractario o las paredes de tubos de agua y al mismo tiempo aseguren una combustión completa de todas las gotas de combustible. Para esto es fundamental el dimensionamiento correcto del tamaño del hogar.

### **1.15.2. Calderas de combustible gaseosos**

Utilizan tanto gas natural como GLP, aire propanado o gas obtenido en gasificadores. Generalmente los quemadores de gas trabajan con muy baja presión, por lo que es común que tengan sistemas de reducción de presión importantes.

En el caso de tener asociado un gasificador que suministre un gas muy particular se utilizan cámaras torsionales a fin de aumentar el tiempo de permanencia del combustible en el hogar.

Es importante lograr una buena mezcla de aire-gas. Con los combustibles gaseosos el riesgo de explosiones por acumulación de combustible no quemado es grande, por lo que es sumamente importante proveer las medidas de seguridad adecuadas. La posición de los quemadores de gas es similar a la de los que utilizan combustibles líquidos.

Es común utilizar quemadores duales, que permitan el uso de uno u otro combustible, dependiendo de su disponibilidad y costo. La emisividad de las llamas de estos combustibles es diferente, por lo que el intercambio por radiación resultará distinto según el combustible utilizado. Lo mismo ocurre con la temperatura de los humos a la salida del hogar y con las condiciones de intercambio en las zonas convectivas de la caldera. Son factores que hay que

tener en cuenta, ya que modifican los resultados obtenidos en el equipo. De cualquier manera el *fuel oil* y el gas natural son de los combustibles más fácilmente intercambiables.

### **1.15.3. Calderas de combustibles sólidos**

Los combustibles sólidos utilizados son muy variados: leña en todos los tamaños (rolos, astillas, chips), desechos de producción (*pellets* de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cáscara de arroz), carbón ( en distintos grados de pulverización), entre otros.

Cada uno requerirá una tecnología apropiada para quemarlos de la mejor manera, desde molinos para pulverizarlos finamente, hasta grillas muy sofisticadas.

El diseño del hogar para estos combustibles es sumamente complejo teniendo que considerar: el ingreso de aire suficiente y su correcta mezcla con el combustible, la permanencia de las partículas en el hogar para quemarse completamente y la disposición de las cenizas, entre otros factores. En general resultan hogares de mayor volumen que los utilizados en caleras de combustibles líquidos y gaseosos.

Los combustibles polvorientos finamente molidos se inyectan en el hogar mediante toberas apropiadas. Hay algún tipo de combustible que se quema en un lecho fluidizado, regulado mediante el ingreso de aire a distintas alturas del hogar. (Este sistema se utiliza también en las calderas de recuperación de la industria de la celulosa). En el caso de combustibles no polvorientos el diseño de las grillas que los sostienen durante la combustión es de fundamental importancia.

En países desarrollados se utilizan calderas que queman los residuos sólidos urbanos.

### **1.16. Componentes de la caldera**

A continuación se describen los componentes principales de una caldera de tubos de humo, alimentada con *fuel oil* número 6 también conocido como búnker C.

- Cuerpo de la caldera
  - Hogar o tubo central
  - Recipiente con tubos de fuego
  - Espejos
  - Mampara

En el cuerpo de la caldera se encuentra el área de transferencia de calor (superficie de calefacción), por lo que se requiere un buen diseño de esta parte de la caldera y limpieza completa del lado de agua y fuego para el máximo rendimiento del equipo.

Los muros de apoyo deberán ser resistentes a los esfuerzos de dilatación y compresión térmica. El cuerpo de la caldera deberá ser aislado con fibra de vidrio de 2" de espesor.

- Quemador
  - Ventilador para el aire de combustible
  - Compresor de aire para atomizador
  - Bomba de combustible
  - Precalentador de combustible (eléctrico y vapor)

- Motor modulador (*dampers motor*)
- Transformador de ignición
- Tubería para el suministro de gas propano (piloto)
- Tubería para el suministro de combustible No.6
- Válvulas solenoides principales y de retorno
- Filtros
- Toberas y boquillas
- Dispositivos de control de llama

El quemador de la caldera es el componente encargado de suministrar la mezcla de aire combustible para que se ejecute la combustión.

Para el caso específico de calderas pirotubulares de combustible número 6 se realiza la siguiente clasificación:

- Por su forma:
  - Quemadores integrales: son aquellos que no se pueden separar del cuerpo de la caldera.
  - Quemadores modulares: son unidades compactas que se separan perfectamente del cuerpo de la caldera.
- Por el tipo de atomización:
  - Atomización por aire: son aquellos que están diseñados para atomizar o pulverizar el combustible por medio de una corriente de aire a baja presión (15 - 30 PSI), este se conoce como aire primario y es provisto por un compresor

que generalmente es del tipo rotativo de paletas deslizantes.

Este tipo de quemador se usa para aceites ligeros (diésel) y pesados (bunker), teniendo como límite una apropiada atomización, una viscosidad aproximada de 125 SSU (Segundos Saibold Universales).

Cuando se quema el aceite pesado, los quemadores disponen de un calentador eléctrico y uno de vapor, que sirven para bajar la viscosidad del aceite a fin de alcanzar los límites de atomización

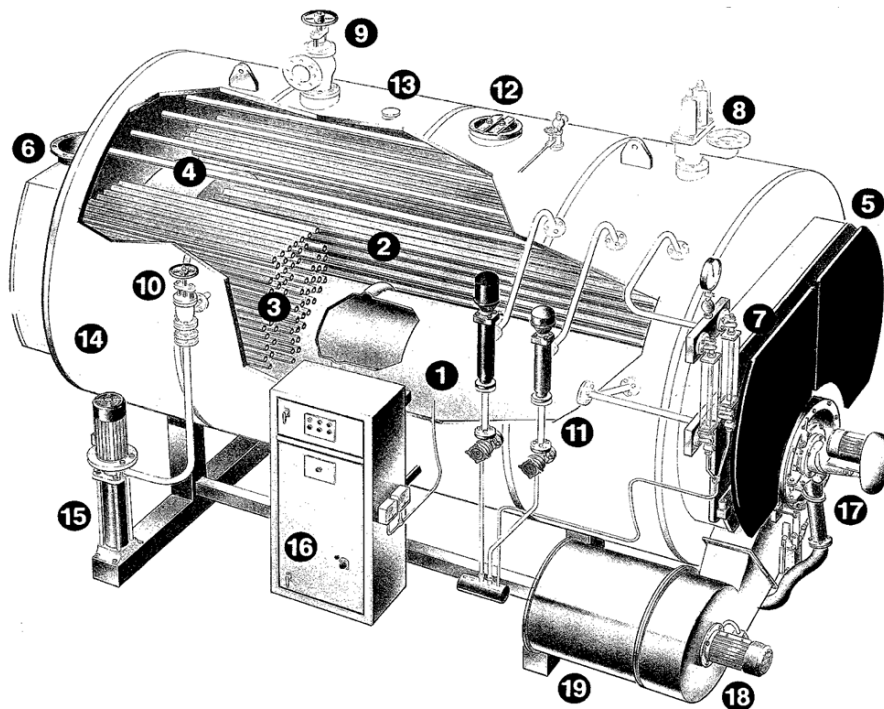
- Atomización por vapor: en este sistema de quemadores se utiliza vapor a presiones entre 75 y 150 PSI para atomizar el *fuel oil* número 6.

Para alcanzar una mayor eficiencia en calderas que atomizan con aire originalmente, y se requiere una atomización a vapor, es recomendable cambiar solamente la boquilla.

Este sistema de atomización tiene la desventaja que inicialmente (cuando la presión de la caldera es igual a cero) se aplica la atomización por aire. La ventaja consiste en ahorrar energía eléctrica y prolongar la vida del compresor de aire.

- Chimenea: este componente consiste en un tubo cilíndrico instalado en la parte delantera o trasera de la caldera (dependiendo del fabricante y del número de pasos). Es utilizado para eliminar los gases calientes residuos de la combustión.
- Dispositivos de medición y control: son los encargados de controlar y medir la presión del vapor, nivel de agua, control de temperatura entre otros; evitando así llegar a niveles críticos de operación.

Figura 4. Componentes de una caldera



Fuente: *Componentes de la caldera*. <http://www.slideshare.net/TermoEficiente/uso-eficiente-de-la-energa-del-vapor>. Consulta: 8 de noviembre del 2014.

1. Hogar
2. Tubos (2do paso)
3. Tubos (3er paso)
4. Cámara de combustión
5. Caja de humos frontal
6. Caja de salida posterior
7. Visor
8. Válvula de seguridad
9. Válvula de salida vapor
10. Válvula de retención agua
11. Controles de nivel
12. Entrada de hombre
13. Conexión de repuesto
14. Carcaza
15. Bomba agua
16. Panel de control
17. Quemador
18. Ventilador
19. Silenciador ventilado



## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN: AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA**

Una forma rentable para el ahorro de agua dentro de la empresa, sería con el retorno de condensado del sistema de vapor, ya que se estaría ahorrando no solo en agua sino también en los químicos que se le inyectan como los antiencrustantes, antioxidantes, anticorrosivo y demás insumos dando como resultados un ahorro importante en la industria.

El calor que contiene el condensado representa el 10 % del calor necesario para evaporar el agua dentro de la caldera, es por esto que se devuelve la mayor cantidad de condensado posible, al sistema de retorno de las calderas y así se ahorra el consumo de combustible llevando también a reducir las emisiones de gases invernaderos.

El agua que utiliza la caldera lleva ciertos procesos como la etapa en que es suavizada por medio de suavizadores químico para que ingrese sin dureza a las calderas y así evitar que las tuberías de la caldera se incrusten por los sólidos disueltos, azufre, zinc, calcio, entre otros.

Es de esperarse que todo el condensado que se forma, a lo largo de las tuberías y en las trampas de vapor no regresará en su totalidad al sistema de generación, ya que existen fugas en el sistema, purgas en las tuberías, descargas al drenaje, entre otros. Dado este conocimiento se determinó que el retorno de condensado es aproximadamente entre el 30 % al 40 % del total producido.

Para incrementar el retorno de condensado primero se evaluaron los equipos de captación como las trampas de vapor y bombas de condensado para determinar en qué estado estaban operando. Se observó que las bombas de condensado que se ubican distribuidas en la empresa, la mayoría necesitaba de mantenimiento correctivo, dado que no estaban enviando el condensado de regreso al cuarto de calderas.

## **2.1. Bombas recolectoras de condensado**

A continuación se presentan el listado de las bombas que se están utilizando dentro de la planta y la descripción del estado en que se encuentran:

- Marca Armstrong, modelo PT-412, 3 X 2, capacidad 12 200 lb/hr
  - Evacuación del condensado muy despacio
  - Cheque de salida en mal estado
  - Manómetro 0-100 PSI vertical no funciona
  - Visores con suciedad
  
- Marca Armstrong, modelo PT-312, 3 X 2, capacidad 16 600 lb/hr
  - Evacua muy lentamente
  - Visor poco visible
  - Cheques en mal estado
  - Manómetro no funciona
  
- Marca Armstrong, modelo PT-406, 1,5 X 1,5, capacidad 5 500 lb/hr
  - Visor obstruido con suciedad
  - Descarga lentamente el condensado
  - Cheques de salida y válvulas de bola en mal estado

- Marca Armstrong, modelo PT-204K, 1 X 1, capacidad 2 400 lb/hr
  - No sirve el visor
  - Tanque de flasheo con fuga continúa al piso
  
- Marca Armstrong, modelo PT-204, 1 X 1, capacidad 2 400 lb/hr
  - Gran parte del condensado va directamente al piso
  - No sirve el visor
  - Cheque de salida y reguladora de presión en mal estado
  
- Marca Armstrong, modelo PT-312, 3 X 2, capacidad 16 600 lb/hr
  - Fuga en un codo de la tubería que genera lluvia
  - No sirve el visor
  - Posiblemente está sobredimensionada

Conociendo los galones por ciclo, que bombea cada modelo, se determina cuánto condensado se estaría regresando al sistema.

PT-200, 3,5 galones por ciclo de bombeo automático

PT-300, 12 galones por ciclo de bombeo automático

PT-400, 7,8 galones por ciclo de bombeo automático

Tomando los ciclos por hora, de cada bomba de recuperación de condensado, se determinaron los siguientes datos:

Tabla I. **Bombas de condensado**

Toma de ciclos en bombas de condensado					
	Bomba	Ciclos/hr	Gal/ciclo	Gal/hr	lb/hr
1	PT - 412	20	7,8	156	1 300
2	PT - 312	3	12	36	300
3	PT - 406	12	7,8	94	783
4	PT - 204K	10	3,5	189	1 574
5	PT - 204	12	3,5	42	350
6	PT - 312	3	12	36	300

Fuente: elaboración propia.

Conociendo los valores de la carga de condensado se calcula, el ahorro que se tendrá anualmente dentro de la empresa y de la energía, al usar nuevamente el condensado para precalentar el agua de reposición.

## 2.2. **Análisis del ahorro del retorno de condensado**

Para obtener el ahorro de agua en cada bomba de retorno de condensado se realizaron las siguientes operaciones.

- Bomba 1:
  - Carga de condensado: 1 300 lb/hr
  - Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
  - Costo del agua = Q 0,40/galón
  - Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
  - Costo del vapor = Q 193/1 000 lb

- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{1\,300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q\,359\,568$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{1\,300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q\,202\,326$$

- Bomba 2:

- Carga de condensado: 300 lb/hr
- Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
- Costo del agua = Q 0,40/galón
- Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
- Costo del vapor = Q 193/1 000 lb

- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q\,82\,977$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q\,46\,690$$

- Bomba 3:

- Carga de condensado: 783 lb/hr
  - Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
  - Costo del agua = Q 0,40/galón
  - Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
  - Costo del vapor = Q 193/1 000 lb
- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{783 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q\,216\,570$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{783 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q\,121\,862$$

- Bomba 4:

- Carga de condensado: 1 574 lb/hr
- Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
- Costo del agua = Q 0,40/galón
- Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
- Costo del vapor = Q 193/1 000 lb

- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{1\,574 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q\,435\,354$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{1\,574 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q\,244\,970$$

- Bomba 5:

- Carga de condensado: 350 lb/hr
- Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
- Costo del agua = Q 0,40/galón
- Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
- Costo del vapor = Q 193/1 000 lb

- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{350 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q\,96\,807$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{350 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q\,54\,472$$

- **Bomba 6:**

- Carga de condensado: 300 lb/hr
  - Horas de operación anual aproximado: 5 760 hrs al año
  - Costo del agua = Q 0,40/galón
  - Energía necesaria para precalentamiento = 140 BTU/lb
  - Costo del vapor = Q 193/1 000 lb
- Ahorro de agua al utilizar el retorno de condensado:

$$\text{Ahorro anual de agua} = \frac{300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * Q0,40/\text{gal}}{8,33 \text{ lb/gal}} = Q 82\,977$$

- Ahorro en el precalentamiento del agua de reposición:

$$\text{Ahorro} = \frac{300 \text{ lb/hr} * 5\,760 \text{ hr/año} * 140 \text{ BTU/lb} * 193}{1\,000 * 1\,000} = Q 46\,690$$

Tabla II. **Ahorro por retorno de condensado**

Tabla de resumen del ahorro por el retorno de condensado		
Bomba	Ahorro anual agua para caldera	Ahorro anual en precalentamiento
1	Q 359 568	Q 202 326
2	Q 82 977	Q 46 690
3	Q 216 570	Q 121 862
4	Q 435 354	Q 244 970
5	Q 96 807	Q 54 472
6	Q 82 977	Q 46 690
Total	Q 1 274 253	Q 717 010

Fuente: elaboración propia



Como se observa en la tabla anterior, el condensado tiene un gran valor tanto energético como económico, por esto se le debe dar mantenimiento periódicamente a todos los accesorios de retorno de condensado.

En el estado en que se encuentran estas bombas se llegan a reparar, de esta manera se capta aún más la cantidad de condensado y la inversión se recuperaría a los pocos meses de poner en funcionamiento las bombas con todos sus repuestos nuevos.

Entre los equipos que generan gran cantidad de condensado se encuentran los intercambiadores de calor y las autoclaves de vapor directo, ya que estas requieren de gran cantidad de vapor vivo para satisfacer el proceso térmico con el cual se está pasteurizando el producto.



### 3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL: EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y USO DE VAPOR

Entre los equipos que utilizan vapor dentro de la industria se encuentran los intercambiadores de calor, encargados de los procesos térmicos. Las marmitas que son utilizadas para el cocimiento del producto, las autoclaves para la pasteurización del producto terminado entre otros equipos que utilizan el vapor como medio de trabajo.

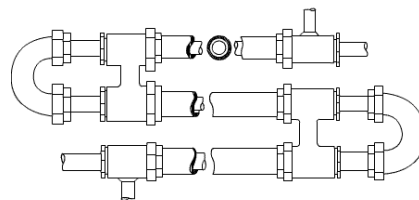
#### 3.1. Tipos de intercambiadores de calor

Dentro de la industria existen diversos tipos de intercambiadores de calor, el uso depende de la aplicación que se necesite y de la cantidad de producto que se necesite calentar.

##### 3.1.1. Tubos concéntricos o doble tubo

A continuación se indica el funcionamiento de un intercambiador de calor de tubos concéntricos o doble tubo:

Figura 5. **Tubos concéntricos**



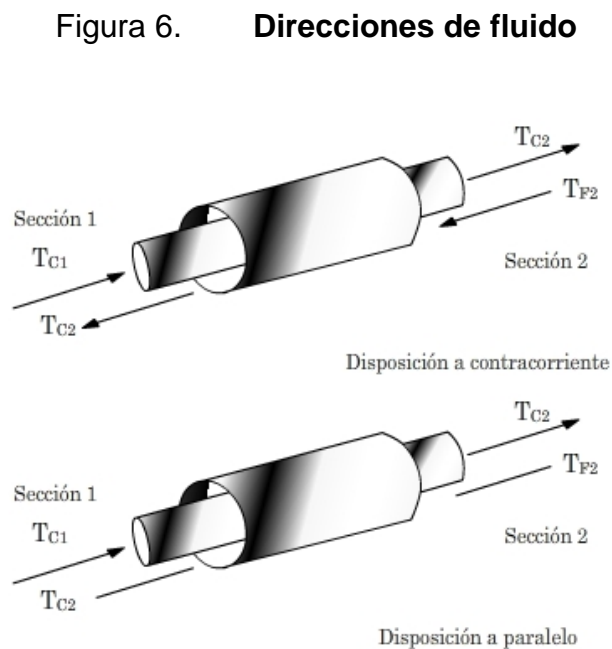
Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs_concentrics.html). Consulta: 15 de noviembre del 2014.

Los intercambiadores de calor de tubos concéntricos o doble tubo son los más sencillos que existen. Están constituidos por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el interior del tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos.

Hay dos posibles configuraciones en cuanto a la dirección de los fluidos: a contracorriente y en paralelo. A contracorriente los dos fluidos entran por los extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos; en cambio en paralelo entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido.

A continuación se pueden ver dos imágenes con las dos posibles configuraciones de los fluidos dentro de los tubos.



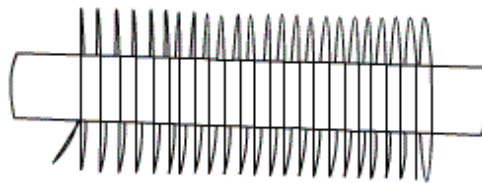
Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/tubs_concentrics.html). Consulta: 15 de noviembre del 2014.

Los intercambiadores de calor de tubos concéntricos o doble tubo son lisos o aleteados. Se utilizan tubos aleteados cuando el coeficiente de transferencia de calor de uno de los fluidos es mucho menor que el otro. Como resultado el área exterior se amplía, siendo más grande que el área interior.

El tubo con aletas transversales, representado a continuación, se utiliza cuando la dirección del fluido es perpendicular al tubo.

Figura 7. **Tubo con aletas transversales**

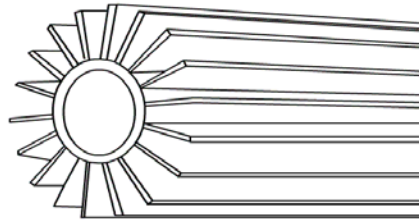


Fuente: *Intercambiador de calor*.

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs_concentrics.html). Consulta: 15 de noviembre del 2014.

En cambio, cuando la dirección del flujo de los fluidos es paralela al eje de los tubos. El tubo es con aletas longitudinales:

Figura 8. **Tubo con aletas longitudinales**



Fuente: *Intercambiador de calor.*

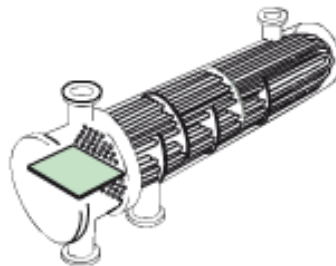
[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs_concentrics.html). Consulta: 15 de noviembre del 2014.

Una aplicación de un intercambiador de doble tubo es el que se utiliza para enfriar o calentar una solución de un tanque encamisado y con serpentín.

### 3.1.2. **Coraza y tubos**

A continuación se indica el funcionamiento de un intercambiador de calor de coraza y tubos.

Figura 9. **Intercambiador de calor coraza y tubo 1-2**



Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

Figura 10. **Intercambiador de calor coraza y tubo 1-4**



Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

Figura 11. **Condensador 2-4**



Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

El intercambiador de calor de coraza y tubos es el más utilizado en la industria. Está formado por una coraza y por multitud de tubos. Se clasifican por el número de veces que pasa el fluido por la coraza y por el número de veces que pasa el fluido por los tubos. En los intercambiadores de calor de paso múltiple se utiliza un número par de pasos en el lado del tubo y un paso o más por el lado de la coraza.

Así por ejemplo el primer intercambiador que hay representado es 1-2, es decir, que el fluido circula una vez por la coraza y el que se encuentra en el interior de los tubos pasa dos veces. En la segunda imagen hay un

intercambiador de calor de coraza y tubos 1-4, por donde circula el fluido caliente 4 veces por dentro de los tubos y el fluido frío 1 vez por la coraza. En la tercera imagen se ve un condensador, donde el vapor entra por la parte de la coraza y sale por la parte inferior en forma de líquido.

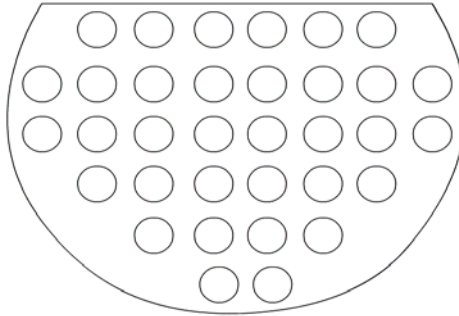
El líquido frío, que normalmente es agua, entra por la parte inferior, por dentro de los tubos, y sale por la parte superior. A veces no condensa todo el vapor y se ha de realizar una purga de aire. Por último el tambor de una columna de destilación produce la evaporación de una parte del disolvente procedente de la columna de destilación que se encuentra en forma líquida.

Esta evaporación es gracias al vapor de agua que circula por dentro de los tubos, que cede el calor de condensación al líquido. El líquido se evapora y el vapor de agua se condensa. El producto sale por la parte inferior del tambor. Siempre queda una mezcla de líquido y vapor de agua que es devuelto a la columna de destilación para separar sus componentes.

Los tubos que van por dentro de la coraza son colocados mediante una placa deflectora perforada, representada a continuación:



Figura 12. **Placas deflectoras de un intercambiador de calor**



Fuente: *Intercambiador de calor*.

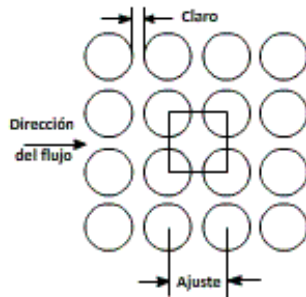
[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

Estas placas deflectoras están puestas para generar un flujo cruzado y inducir una mezcla turbulenta en el fluido que va por la coraza, mejorando el intercambio por convección.

Los tubos presentan diferentes distribuciones:

- **Ajuste cuadrado:** esta configuración permite una mejor limpieza de los tubos. También hace que haya una menor caída de presión en el lado de la coraza.

Figura 13. **Ajuste cuadrado**

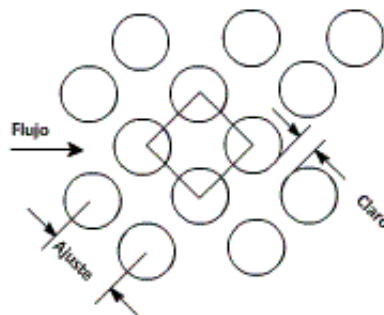


Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

- Ajuste cuadrado girado: las ventajas de esta distribución es la misma que el anterior.

Figura 14. **Ajuste cuadrado girado**

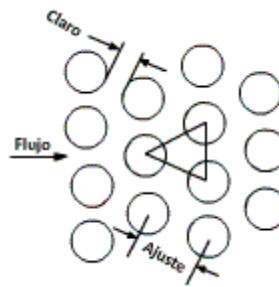


Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdec calor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

- Ajuste triangular: se consigue una mayor superficie de transferencia de calor que con el ajuste cuadrado no se consigue. Si la distancia de centro a centro de los tubos es muy pequeña, no se puede limpiar.

Figura 15. **Ajuste triangular**



Fuente: *Intercambiador de calor.*

[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa\\_i\\_tubs.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/carcassa_i_tubs.html). Consulta: 16 de noviembre del 2014.

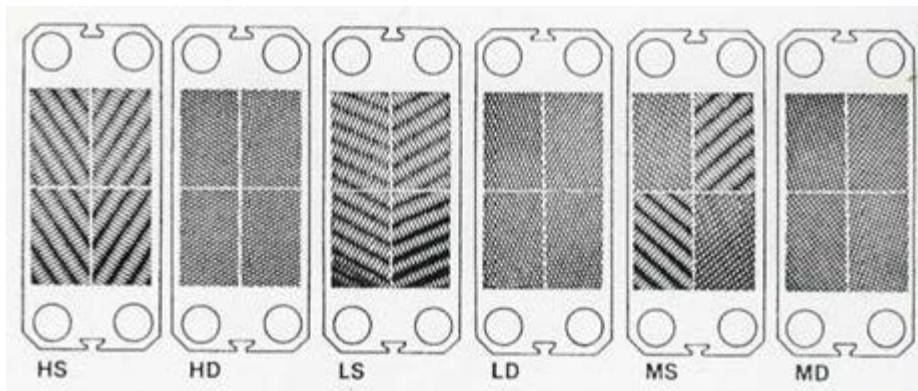
### 3.1.3. Placas

Un intercambiador de calor de placas consiste en una sucesión de láminas de metal armadas en un bastidor y conectadas de modo que entre la primera y la segunda placa circule un fluido, entre la segunda y la tercera otro, y así sucesivamente. Estas placas están separadas por juntas, fijadas en una coraza de acero. La circulación de estos fluidos puede tener diferentes configuraciones, en paralelo y contracorriente.

En la figura de debajo hay diferentes tipos de placas que se encuentran en un intercambiador de calor de placas. Cada placa tiene canalizaciones diferentes de fluido que inducen a turbulencia.

Si el fluido frío circula por la parte de delante de la placa, el fluido caliente lo hace por la parte de detrás.

Figura 16. **Tipos de placas en un intercambiador de placas**



Fuente: *Intercambiadores de calor*.

<http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/plaques.html>. Consulta: 17 de noviembre del 2014.

### 3.2. **Marmita**

Recipiente de la familia de las ollas que dispone de una tapa para aprovechar el vapor, y una o dos asas. Es una olla exclusivamente metálica, aunque en el uso popular del término en la mayoría de los países de habla hispana, la marmita es sinónimo de olla, puchero o cazuela, y por tanto, puede estar hecha de los materiales comunes a dichos útiles de cocina, desde el barro hasta la cerámica más sofisticada, pasando por el vidrio, aleaciones metálicas, entre otros.

Figura 17. **Marmita**



Fuente: *Marmita*. <http://www.logismarket.com.mx/maquinaria-jersa/marmitas/1498831316-3356760489-p.html>. Consulta: 17 de noviembre del 2014.

### **3.3. Autoclaves**

Es el recipiente encargado de la esterilización de elementos utilizando vapor de agua. Este recipiente debe estar fabricado en metal y debe tener la capacidad de resistir las altas temperaturas y presiones a las que el agua contenida en su interior es sometida.

La presión ejercida sobre el agua es tal que se logra calentar por encima de su punto de ebullición. Estas altas temperaturas permiten que el vapor de agua destruya los microorganismos para permitir la conservación de alimentos, medicamentos y demás productos que se desea conservar.

La autoclave industrial, a diferencia de la autoclave normal, se utiliza para facilitar el cocimiento en diversos procesos industriales. Se lleva a cabo un

tratamiento de estos productos por encima de los 100 °C, que es el punto de ebullición del agua.

- Funcionamiento de la autoclave industrial: en términos generales, la autoclave industrial funciona de la misma manera que el autoclave normal, con la diferencia de que las cantidades de productos esterilizados es mayor en las autoclaves industriales.

El funcionamiento es el siguiente:

- Se colocan los productos a esterilizar en recipientes grandes, diseñados especialmente para la esterilización.
  - Se ubican dichos recipientes dentro de la autoclave industrial.
  - Se permite la entrada del agua o de vapor de agua a altas temperaturas.
  - Si es el caso de que se introduzca agua en el autoclave, esta es sometida a temperaturas muy altas (por encima de los 100 °C) para llevar a cabo la esterilización.
  - El vapor de agua coagula y destruye los microorganismos presentes y se completa el proceso de esterilización.
- Aplicaciones de la autoclave industrial: en la industria alimenticia, se utiliza la autoclave industrial para esterilizar alimentos enlatados y conservas.

En la industria de los neumáticos el autoclave industrial es utilizado para los procesos de vulcanizado de las llantas y en la industria de la construcción se utiliza para dar un tratamiento especial a las maderas utilizadas en exteriores

con la finalidad de matar cualquier microorganismo que la dañe y aumentar su vida útil.

- Tipos de autoclave industrial: dependiendo de la forma de llevar a cabo su funcionamiento, existen tres tipos de autoclave industrial:
  - Autoclave industrial de desplazamiento por gravedad. Se inyecta a presión el vapor en la cámara de presión. Al entrar, empuja hacia abajo el aire más pesado y es evacuado por medio de filtros.
  - Autoclave industrial calentado por combustible. Este tipo de autoclaves es cargado desde arriba y se activa a través de gas, electricidad o cualquier otro combustible. El agua se encuentra en la base de la autoclave y al calentarse para generar vapor de agua empuja el aire hacia arriba. Es expulsado por una válvula de salida que se cierra cuando todo el aire es evacuado. Cuando la temperatura y la presión han aumentado al nivel requerido, comienza el tiempo de detención.
  - Autoclave industrial prevacío. En este tipo de autoclave industrial se desecha el aire antes de producir el vapor, creando un efecto de vacío. Su uso óptimo es con materiales porosos, pero no deben utilizarse con materiales líquidos, ya que el vacío dificultaría su correcto funcionamiento.

### **3.4. Aislamiento térmico**

El continuo intercambio de calor en la industria requiere de un apropiado aislamiento térmico que aumente la seguridad del ambiente de trabajo y un ahorro considerable de los recursos energéticos.

El intercambio de calor es un proceso de gran importancia para la industria. Este debe ir de la mano con un apropiado aislamiento térmico que aumentará la seguridad del ambiente de trabajo y un ahorro considerable de los recursos energéticos, incrementando las ganancias mensuales.

Por lo general la industria a mediana escala, es la que menos cuida de implementar el aislamiento térmico necesario para los sistemas de calentamiento o enfriamiento. En estas empresas se aplica la visión clásica del que si un proceso resulta rentable, sin importar que se desperdicien ciertos recursos, no vale la pena invertir en ahorro energético. Sin embargo si se quiere hacer de su empresa, una empresa líder en el mercado es mejor invertir a largo plazo en el aislamiento térmico.

En una industria existen sectores o determinados equipos en común que requieren de un debido aislamiento térmico como los mencionados a continuación:

- Tuberías de condensado: muchas empresas se conforman con aislar las tuberías de alimentación de vapor y dejan las de retorno de condensado sin aislamiento, argumentando que no es necesario. Sin embargo cuando más fría sea la cantidad de agua que retorne, producto del condensado del vapor, mayor será el consumo de combustible.



- Marmitas: los recipientes en los que se elaboran los distintos productos industriales requieren de aislamiento térmico y del sellado de la cubierta externa para evitar que la humedad entre y dañe el aislamiento que lo rodea.

### **3.5. Vapor flash**

Nombre dado al vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión.

Su nombre es utilizado para explicar cómo se forma el vapor. El vapor normal se genera en la caldera o en un generador de vapor, mientras que el vapor flash se genera cuando condensado de alta temperatura/presión se expone a una gran caída de presión tal como la descarga de una trampa de vapor.

El condensado de alta temperatura contiene una gran energía que no puede permanecer en forma líquida a presiones menores debido a que existe mayor energía que la requerida para obtener agua saturada a una menor presión. El resultado es que algo de este exceso de energía genera del condensado un porcentaje de vapor flash.

El condensado contiene demasiada energía (entalpía) para permanecer solamente como líquido, por lo que una porción del condensado se evapora, ocasionando que la temperatura del condensado restante se reduzca a una presión de saturación.

En otras palabras, cuando el condensado caliente es descargado a una presión menor, su entalpía (energía total) permanece constante, pero su punto

de saturación cae (la temperatura a la cual el condensado puede existir tanto en estado líquido como gaseoso). Para compensar la cantidad excesiva de energía, parte de las moléculas del agua absorben el exceso de energía como calor latente y se evaporan en forma de vapor.

Para calcular el vapor flash generado se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% \text{ vapor flash} = (SA - SB) / LL \times 100$$

SA= calor sensible del condensado a alta presión, antes de ser descargado

SB= calor sensible del condensado a baja presión, a la cual se descarga

LL = calor latente del vapor a baja presión, a la cual se descargó

El vapor flash generado en la planta es:

$$\% \text{ vapor flash} = (308,8 - 108) / 970,3 \times 100 = 13,3\%$$

### **3.6. Cálculos del consumo de vapor dentro del sistema de vapor**

Dentro de la industria, y a lo largo de la tubería como de los accesorios, se encuentran pequeñas pérdidas de vapor pero que representan un gran gasto tanto de combustible como de energía calórica dando como resultados pérdidas económicas a la empresa como al medio ambiente.

Entre las pérdidas se encuentran las que son por falta de mantenimiento preventivo como también por desgastes prematuros debido a las condiciones en las que se encuentran los equipos, también existen pérdidas de calor por la falta de aislamiento térmico a lo largo de ciertas secciones de tubería de vapor como de condensado.

Las bombas de condensado como anteriormente se describieron también son factores de pérdidas tanto de calor como de condensado en sí, es por esto que se le debe dar el mantenimiento adecuado y cambiar las piezas que se encuentran en mal estado para retornar lo más posible el condensado.

- Pérdida por orificio: para determinar la cantidad de vapor por lb/hr que se perdían, se utilizó la fórmula de Napier, la cual esta resumida en una tabla que se muestra a continuación:

Tabla III. **Pérdida de vapor por orificio**

"Steam Loss Through an Orifice, lbm/hr"							
STEAM PRESSURE-PSIG							
Size	*	15	30	60	100	110	120
3/64"	0,0469	2	3	6	10	11	12
1/16"	0,0625	4	7	11	18	19	21
5/64"	0,0781	7	11	18	28	30	33
3/32"	0,0938	10	15	26	40	44	47
7/64"	0,1094	14	21	36	55	60	65
1/8"	0,125	18	28	47	72	78	84
9/64"	0,1406	23	35	59	91	99	107
5/32"	0,1562	29	44	73	113	123	133
3/16"	0,1875	42	63	106	162	176	190
7/32"	0,2188	57	86	144	221	240	260
1/4"	0,25	74	112	188	289	314	339
9/32"	0,2812	94	142	238	366	398	430
5/16"	0,3125	117	176	294	452	491	531
11/32"	0,3438	141	213	356	547	595	643
3/8"	0,375	168	253	424	651	708	765
7/16"	0,4375	229	345	577	886	963	1 041
1/2"	0,5	299	451	754	1 158	1 259	1 360
9/16"	0,5625	379	571	954	1 465	1 593	1 721
5/8"	0,625	468	705	1 178	1 809	1 967	2 125
11/16"	0,6875	567	853	1 426	2 189	2 380	2 571
3/4"	0,75	674	1 015	1 697	2 606	2 833	3 060

Chart is based on pounds per hour, rounded down to the nearest whole number.

Napier's Formula = (area of well-rounded, converging orifice)(pressure-PSIA)/70\*3600 Sec/Hour

Fuente: *Fórmula de Napier*. <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/cost-of-steam-trap-losses.html>. Consulta: 23 de noviembre del 2014.

En la siguiente tabla de resumen se encuentra la cantidad de vapor que se pierde por los orificios según la presión y el tamaño del orificio:

Tabla IV. **Pérdidas de vapor por orificio en la planta**

Pérdida de vapor por orificio						
Ubicación	Tipo de fuga	Ø orificio	P. de operación	Tiempo	Perdida de vapor	equivalente en bunker
		pulgadas	psi	hrs/mes	lbs/mes	gals de bunker
Bomba condensado L. 21 y 22	fuga por picadura	1/16	40	300	2 400	23
Tubería secundaria L. 11	empaques de flange	3/32	118	480	37 920	361
Autoclave de vapor directo	válvula control neumático	1/16	20	200	1 000	10
Lenadora Tetra pak	fuga en válvula reguladora	1/16	50	350	3 500	33

Fuente: elaboración propia.

- Pérdida por aislamiento: para determinar la pérdida de calor por falta de aislamiento en las tuberías de vapor y condensado se tomaron las longitudes de las secciones descubiertas y se midieron los diámetros de la tubería.

Usando la fórmula:

$$Q = \frac{(2) \cdot (3.1416) \cdot (26 \text{ BTU/h} \cdot \text{pie} \cdot \text{°F}) \cdot (L) \cdot (T_{\text{VAPOR}} - T_{\text{SUPERFICIE TUBO}})}{\ln (\varnothing_{\text{EXTERNO TUBO}} / \varnothing_{\text{INTERNO TUBO}})}$$

Dónde:

T = temperatura en ° F

L = longitud en pies

Ø = diámetro del tubo

Se determinó la pérdida de calor, a continuación se encuentra la tabla de resumen:

Tabla V. **Pérdida de calor por tuberías no aisladas en la planta**

Perdida de calor por tubería no aislada							
Ø externo tubo	Ø interno tubo	Longitud	T vapor	T superficie tubo	perdida de calor	consumo de bunker	perdida de vapor
pulgadas	pulgadas	pies	°F	°F	BTU/hr	galones de bunker	lb/hr
1,31	1,04	180	293	140	19 492 622	141	20 054
1,9	1,61	110	293	140	16 600 697	120	17 078
2,37	2,06	370	293	140	65 970 385	478	67 870
2,87	2,46	130	293	140	21 078 687	153	21 685
3,5	3,06	130	293	140	24 185 643	175	24 882
4,5	4,02	25	293	140	5 539 797	40	5 699

Fuente: elaboracion propia.

- Consumo de vapor por línea de producción: de los diversos equipos que se describieron con anterioridad se llegó a calcular el consumo de cada uno de ellos, usando las siguientes fórmulas se determinaron la cantidad de vapor que consumía cada una.

Fórmulas utilizadas para calcular:

- Flujo de vapor

$$mv = \frac{\eta * mc * PCI}{hg_v - hf_a}$$

Donde;

mv = flujo másico del vapor (lbs/h)

hg<sub>v</sub> = entalpia de vapor a la salida

hf<sub>a</sub> = entalpia del agua a la caldera

mc = flujo másico del combustible

PCI = poder calorífico inferior del combustible

N = eficiencia

- Cálculo de carga de vapor para:
  - Calentamiento de agua con vapor:

$$\text{Lb/hr}_{\text{vapor}} = \frac{\text{gpm} * \Delta T * 1.1}{2}$$

Donde:

gpm = galones por minuto

$\Delta T$  = diferencia de temperatura (°F)

1.1 = factor de seguridad

- Marmitas:

$$\text{Lb/hr}_{\text{vapor}} = \frac{\text{gal} * \text{SG} * \text{CP} * \Delta T * 8.3}{\text{Lat} * T}$$

Donde:

CP = calor específico del líquido

SG = gravedad específica

Lat = calor latente del vapor

En la tabla siguiente se encuentra el resumen de los cálculos de la carga de vapor para cada línea de producto según su presentación:

Tabla VI. Resumen de consumo de vapor por línea

Línea	Volumen		Carga de vapor	
Producto	ml /oz	gr	lb/hr	
B E B I D A S	330	ml	2 872	
	5.5	oz	952	
	8	oz	1 038	
	220	ml	1 148	
	250	ml	679	
	160	ml	455	
	200	ml	776	
	250	ml	792	
	1 000	ml	2 123	
	200	ml	1 471	
	350	ml	641	
	500	ml	915	
	2 000	ml	1 830	
	2 500	ml	2 288	
	K É T C H U P	14	oz	765
		28	oz	971
14		oz	387	
28		oz	542	
12		oz	368	
20		oz	491	
104		oz	511	

Línea	Volumen		Carga de vapor
Producto	ml /oz	gr	lb/hr
T O M A T I N A	4	oz	26
	8	gr*	5
	8	gr*	5
	52	gr*	5
	5	gal LC	316
	5	gal	316
	8	oz	23
	14,1	oz	41
	5,5	oz	20
F R I J O L	8	oz	23
	14,1	oz	41
	29	oz	73
	35	oz	89
	104	oz	263
	5,5	oz	109
	10,5	oz	209
H O J A L A T A	15	oz	298
	29	oz	461
	35	oz+	417
	5,5	oz	139
	6	oz P	152

Fuente: elaboración propia.





## CONCLUSIONES

1. Debido a la eficiencia del 85 % en la caldera se observa que el mantenimiento que se le proporciona al equipo es periódico y eficaz, los insumos utilizados para generar el vapor son de gran calidad como se refleja en la cantidad de vapor producido.
2. Se debe de considerar las pérdidas por falta de aislamiento debido que por la tubería no cubierta se pierde poder energético significativamente, dando como resultado una mayor demanda de insumos para generar el vapor y también se debe tomar en cuenta como factor de seguridad industrial.
3. Las pérdidas de vapor vivo por orificios no es tomado con importancia ya que no se considera de gran magnitud, pero al realizar los cálculos se observa que debido al tiempo de trabajo y la presión de operación, la cantidad de vapor desperdiciado es significativa, resultando en mayor consumo de combustible bunker y aumentando la temperatura en el área de trabajo.
4. Los equipos que consumen la mayor cantidad de vapor generado son los intercambiadores de calor y las autoclaves, ya que son equipos responsables de brindar los procesos térmicos a los diferentes productos producidos.



## RECOMENDACIONES

Al jefe de Producción:

1. Aislar las tuberías de vapor vivo para evitar que se pierda la transferencia de calor hacia los equipos y también aislar las tuberías de retorno de condensado para que no disminuya la temperatura del mismo.

Al jefe de Proyectos:

2. Proporcionar a las tuberías de vapor y condensado una inclinación en dirección al flujo con una relación de 1 a 100 para facilitar el drenado de condensado que se forma dentro de la tubería, hacia las trampas de vapor.

Al supervisor de Proyectos:

3. Instalar medidores de flujo en la tubería de vapor, en el *manifold* de distribución, para determinar la cantidad que se distribuye a la planta como también en la tubería de retorno de condensado para obtener el porcentaje de condensado que retorna al sistema.

Al jefe de Mantenimiento:

4. Brindarle mantenimiento a las trampas de vapor y los accesorios de las tuberías periódicamente como mínimo cada tres meses para así observar si tienen algún desperfecto.

Al supervisor de Mantenimiento:

5. Remover los ramales de la tubería que no se están utilizando o están obsoletos, dado que se pierde vapor por la longitud de la tubería y por los accesorios instalados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARMSTRONG. *Solution source for steam, air and hot water systems*. Estados Unidos: 2002. 180 p.
2. FAY, Erick. *Búnker (combustible)*. [en línea]. <[www.articuloz.com/negocios-articulos/bunker-combustible-491964.html](http://www.articuloz.com/negocios-articulos/bunker-combustible-491964.html)>. [Consulta: 25 de octubre de 2014].
3. QUIMINET. *Autoclaves industriales*. [en línea]. <[www.quiminet.com/articulos/autoclave-industrial-funcionamiento-y-tipos-2651729.htm](http://www.quiminet.com/articulos/autoclave-industrial-funcionamiento-y-tipos-2651729.htm)>. [Consulta: 23 de octubre de 2014].
4. TLV. *Trampas de vapor*. [en línea]. <<http://www.tlv.com/global/LA/products/080000.html>>. [Consulta: 24 de octubre de 2014].
5. UPC. *Intercambiadores de calor*. [en línea]. <[http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/intercanviadors\\_calor.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/intercanviadors_calor.html)>. [Consulta: 29 de octubre de 2014].

