



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

**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN
UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS**

Heidi Andrea Lara Molina

Asesorada por el Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez

Guatemala, febrero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN
UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HEIDI ANDREA LARA MOLINA
ASESORADA POR EL ING. FEDERICO SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Edwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de mayo de 2011.


Heidi Andrea Lara Molina

Guatemala Agosto de 2011

Ingeniero Williams Álvarez

Director de Escuela
Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala

Reciba usted un saludo cordial deseándole que el desarrollo de sus proyectos se encuentre marchando satisfactoriamente.

Por medio de la presente le comunico que asesoré a la estudiante Heidi Andrea Lara Molina en el desarrollo de su informe final de trabajo de graduación titulado "PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS" el cual fue revisado y aprobado por mi persona.

Atentamente



Ing. Federico Salazar



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.
Edificio T-5, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala, Centroamérica
Teléfono directo: (502) 2418-9118 PBX: 2418-8000 extensión 1599 Extensión 86214

Guatemala, 8 de Noviembre de 2011
Ref.EIQ.TG.262.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-144-2011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria, **Heidi Andrea Lara Molina**, identificada con carné No. **2004-12426**, titulado: **“PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS”**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Federico Guillermo Salazar Rodríguez**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **LARA MOLINA**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Teresa Euseby de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA

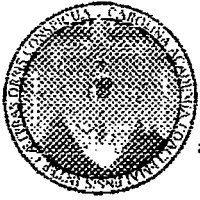
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



ACAAI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.025.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **HEIDI ANDREA LARA MOLINA** titulado: "**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



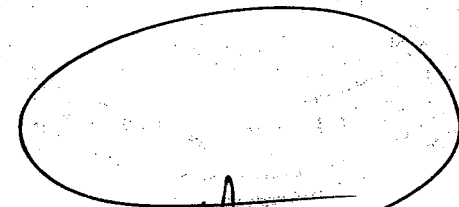
Guatemala, febrero de 2012

Cc: Archivo
WGAM/ale



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 Química, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE VAPOR EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS**, presentado por la estudiante universitaria **Heidi Andrea Lara Molina**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 6 de febrero de 2012.



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Mi señor, quien me dio la oportunidad de alcanzar esta meta en mi vida.
Mi madre	De quien he aprendido tanto a través del ejemplo y admiro enormemente.
Mi esposo	El amor de mi vida, quien me ha dado ánimo y apoyo para alcanzar mis metas.
Mi hijo Alejandro	Deseándole una vida llena de alegrías y triunfos.
Mis hermanos, abuela, tíos, primas y sobrinos	Con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Federico Salazar

Por su ayuda y consejo a lo largo de la realización de este trabajo de graduación.

Licda. Perla de León

Por permitirme realizar el presente trabajo de graduación en la planta de fabricación de productos cosméticos y de higiene.

Ing. Antonio Echeverría

Por su ayuda en el departamento de mantenimiento de la planta, para la toma de datos y recolección de información en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Primera ley de la termodinámica	5
2.1.1. Calor	7
2.1.2. Entalpía	7
2.2. Transferencia de calor	9
2.2.1. Conducción	9
2.2.2. Convección	10
2.2.3. Radiación	11
2.3. Calderas y máquinas de vapor	12
2.3.1. Producción de vapor	12
2.3.1.1. Vapor saturado	12
2.3.1.2. Vapor sobrecalentado.....	13
2.3.1.3. Tablas de vapor	13
2.3.2. Combustión	13
2.3.2.1. Poder calorífico	14
2.3.2.2. Gases de combustión	14

2.3.3.	Tratamiento de agua de alimentación	14
2.3.4.	Eficiencia	17
2.3.5.	Vapor <i>flash</i>	18
2.3.6.	Componentes de la caldera	19
2.3.6.1.	Hogar	19
2.3.6.2.	Cuerpo de la caldera	19
2.3.6.3.	Tubos de caldera	19
2.3.6.4.	Chimenea	20
2.3.6.5.	Válvula de seguridad	20
2.3.6.6.	Medidores de nivel.....	21
2.3.6.7.	Válvula de purga	22
2.3.6.8.	Bombas	23
2.4.	Recuperación de calor en la caldera	23
2.4.1.	Retorno de condensado	24
2.4.2.	Diseño de las líneas de condensado	25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	29
3.1.	Variables	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio	30
3.3.	Recurso humano disponible	31
3.4.	Recurso material disponible	31
3.5.	Técnica cuantitativa	32
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	33
3.6.1.	Recolección de información en la caldera	33
3.6.2.	Recolección de información en los equipos de fabricación	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	34
3.7.1.	Balace de energía	35

3.7.2.	Línea de retorno de condensado	38
3.7.3.	Análisis financiero	43
3.7.3.1.	Ahorro en combustible	43
3.7.3.2.	Ahorro en tratamiento de Agua alimentación	44
3.7.3.3.	Gastos	45
3.7.3.4.	Relación beneficio costo	48
3.7.3.5.	Tiempo de retorno de inversión	51
3.8.	Análisis estadístico	52
4.	RESULTADOS	59
5.	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	63
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69
	APÉNDICES	71
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Caldera pirotubular de la planta de fabricación de productos cosméticos	2
2.	Columnas de tratamiento de agua en planta de fabricación de cosméticos	16
3.	Chimenea en la fabrica cosmética	21
4.	Medidor de nivel en la planta cosmética	22
5.	Ejemplo de línea de retorno de condensado	25
6.	Diagrama de flujo de línea de retorno de condensado	46
7.	Línea de tiempos para la propuesta de introducción de línea de retorno de condensado	48
8.	Gráfica de media acumulada para el consumo del diesel	53
9.	Gráfica de media acumulada para el consumo de agua de alimentación	55

TABLAS

I.	Conversión a vapor instantáneo	18
II.	Porcentaje de vapor <i>flash</i>	26
III.	Caudal de vapor <i>flash</i>	27
IV.	Gastos por introducción de la línea de retorno	47
V.	Vida útil (en años) de componentes, accesorios y equipos de obras hidráulicas	49
VI.	Características de válvulas	50

VII.	Toma de datos del consumo de diesel	53
VIII.	Toma de datos del consumo de agua de alimentación	54
IX.	Estadísticas del consumo de diesel	56
X.	Estadísticas del consumo de agua	57
XI.	Recuperación de condensado	59
XII.	Eficiencia del sistema	60
XIII.	Ahorro de combustible	60
XIV.	Ahorro en tratamiento de agua de alimentación	60
XV.	Análisis financiero	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Q	Calor
C_p	Capacidad calorífica
V	Costo
η	Eficiencia
E	Energía
U	Energía interna
H ó h	Entalpía
Δ	Gradiente o cambio
M ó m	Masa
P	Presión

PC

Poder calorífico

T

Temperatura

W

Trabajo

VF

Vapor *flash*

GLOSARIO

Caldera	Máquina de producción de vapor de agua por medio de transferencia de calor por conducción, la cual utiliza como medio de calentamiento gases de combustión.
Caldera pirotubular	Caldera en la que los gases de combustión circulan dentro de tubería y el agua en el cuerpo de la caldera.
Capacidad evaporativa	Cantidad de vapor que es capaz de producir una caldera o máquina de vapor.
Combustible	Material inflamable, el cual propicia el desarrollo de una reacción de combustión.
Condensado	Material que se encuentra en estado líquido como consecuencia del enfriamiento del mismo, en fase gaseosa, dando lugar al cambio de fase.
Desmineralizador	Equipo utilizado para eliminar los minerales no deseables en el agua por medio de la acción de resinas iónicas.

Dureza del agua	Término utilizado para referirse a la presencia de minerales en el agua que pueden causar incrustaciones en la caldera, tales como carbonatos y sulfatos.
Eficiencia	Término empleado para representar la relación entre lo obtenido y lo utilizado para un determinado proceso.
Eficiencia térmica	Hace referencia a la utilización de un equipo o desarrollo de un proceso que involucra transferencia de calor y/o energía térmica.
Entropía	Medida que representa la energía pérdida en el sistema como consecuencia de los procesos o cambios irreversibles.
Evaporación instantánea (<i>Flasheo</i>)	Proceso natural que ocurre a los condensados cuando estos son transportados de un área con alta presión hacia otra de menor presión.
Filtros	Equipo utilizado como medio para realizar una separación física entre materiales sólidos de distinto tamaño o materiales sólidos de fluidos.

Gradiente	Se refiere a un cambio, ya sea aumento o disminución en una de las propiedades del sistema.
Línea de retorno de condensado	Tubería por medio de la cual el condensado recuperado tras la utilización de vapor en los diferentes procesos productivos, es dirigido hacia el tanque de alimentación de la caldera.
Manómetro	Instrumento utilizado para medir la presión en un equipo, sistema o en un medio.
Marmita	Equipo utilizado para la fabricación por lotes de diferentes productos que requieren calentamiento y/o enfriamiento durante el proceso, por medio del uso de una chaqueta que permite la transferencia de calor sin entrar en contacto con el producto.
Quemador	Parte de la caldera en que ocurre la reacción de combustión que da origen a la producción de gases para la transferencia de calor.
Retorno de condensado	Método que propone la reutilización de los condensados obtenidos en los procesos productivos, en un nuevo ciclo de generación de vapor.

Tratamiento de agua

Procedimiento utilizado con el fin de introducir a un determinado proceso agua libre de impurezas que pudieran ser perjudiciales o innecesarias para el uso que se pretende darle a la misma.

Vapor *flash*

Vapor obtenido como consecuencia de la evaporación instantánea de un condensado al ser trasladado hacia un área de menor presión.

RESUMEN

En la planta dedicada a la fabricación de productos cosméticos se cuenta con una caldera pirotubular, la cual alimentaba ocho marmitas de diferentes tamaños. Recientemente se adquirió una novena marmita de mayor tamaño a las que se tienen actualmente, con lo cual se obtuvo un aumento a la demanda de vapor generado, por lo tanto un incremento en los costos de operación. Con el objetivo de contrarrestar esta alza en costos, se presentó una propuesta, a través de la cual se pretendía mejorar la eficiencia del sistema de vapor por medio de la introducción de una línea de retorno de condensado. Esto debido a que, actualmente, en los procesos de fabricación, únicamente se utiliza el vapor como medio de calentamiento y al finalizar el proceso, el agua condensada como resultante del proceso es desechada directamente en los desagües.

Para formular la propuesta se realizó primero el estudio de la situación actual en que está trabajando el sistema de generación de vapor, se calculó su eficiencia térmica y se realizaron mediciones respecto a las condiciones térmicas del agua que está desechando.

Con esta propuesta se obtuvo un ahorro energético reflejado en el combustible de un 10.93%, agua de alimentación a la caldera en un 89.74%, y en el aumento de la eficiencia térmica del sistema en 3.14%.

Por último, se realizó un análisis financiero, el cual permite ver los gastos que representa la introducción de la línea de retorno de condensado comparado con el ahorro obtenido, determinándose que la inversión puede ser recuperada

en 11 meses. También se describe la obtención de la relación beneficio costo de 4.35.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta sobre la introducción de una línea de retorno de condensado para la mejora de la eficiencia térmica del sistema de vapor en una planta de fabricación de productos cosméticos.

Específicos

1. Establecer la eficiencia térmica actual del sistema de producción de vapor por medio de balances energéticos.
2. Proponer una forma de recuperar la energía térmica perdida diariamente en el agua de condensado, tirada hacia los desagües.
3. Calcular teóricamente la eficiencia de la caldera al incluir una línea de retorno de condensado.
4. Calcular teóricamente los datos de ahorro de combustible y agua que se obtendrían al implementar la línea de retorno de condensado.
5. Determinar los recursos necesarios para la implementación de una línea de retorno de condensado hacia la caldera.
6. Realizar un análisis financiero de la propuesta de introducción de línea de retorno.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de plantas industriales que necesitan calor para sus procesos, se observa la utilización de vapor como medio energético para suplir esta necesidad. Esto se debe a que el agua es una sustancia relativamente fácil de encontrar en la mayor parte del mundo, además que no requiere mucha transformación o esfuerzo mayor para transformarla en vapor y distribuirla hacia el lugar necesario para su utilización. Sin embargo, algo que si es importante considerar es el costo de la generación de vapor.

Una caldera o máquina de vapor, tiene como objetivo producir energía limpia, barata, segura, eficiente y rentable para ser aprovechada en los procesos productivos. A través de los procesos de generación, distribución y consumo de vapor siempre existirán pérdidas energéticas por uno u otro motivo, algunas de estas pérdidas pueden ser disminuidas grandemente al realizar una adecuada evaluación y control de ciertos puntos críticos en el proceso.

El uso eficiente del vapor incluye el adecuado uso de aislamiento térmico, colocación de trampas de vapor en puntos adecuados y mantenimiento preventivo entre otros. Sin embargo, existen otras pérdidas energéticas más difíciles de controlar, dentro de las cuales destacan el calor contenido en los gases de chimenea en la caldera y la energía contenida en los condensados al finalizar los procesos en los equipos consumidores de vapor.

Estas pérdidas se deben a que el vapor utilizado como medio de calentamiento únicamente cede parte del calor latente o de vaporización, que

aunque representa la mayor cantidad de energía, no es toda la energía que éste podría ceder. El calor sensible, o por aumento de temperatura, contenido en el condensado, es perdido al ser desechado hacia un desagüe. Este calor sensible fue obtenido como consecuencia del proceso de generación de vapor, el cual representó en su momento un gasto de combustible.

La finalidad de introducir una línea de retorno de condensado en un sistema de generación de vapor, es poder aprovechar este calor sensible, en el cual ya se invirtió cierta cantidad de energía contenida en el combustible, al utilizar el condensado como agua de alimentación a la caldera.

Al hacer esto, se obtiene un ahorro, tanto energético como de recursos naturales (agua), que implica que ya no hay necesidad de utilizar combustible en el calentamiento del agua de alimentación, sino únicamente en el cambio de fase. Este ahorro podrá ser apreciado al tomar en cuenta el tiempo en que trabaja la caldera y la cantidad de ciclos por hora y por día en la generación de vapor.

El uso del condensado como agua de alimentación al retornar a la caldera, tiene además otro beneficio; el ahorro en el tratamiento de agua de entrada a la caldera.

En una caldera el agua de alimentación debe llevar un proceso previo, el cual implica un tratamiento para reducir la cantidad de sólidos disueltos en el agua por medios generalmente químicos a fin de prevenir incrustaciones, u otro tipo de problema en la caldera, que lleven a realizar mayor cantidad de purgas y mantenimiento de la misma.

El condensado es un tipo de agua que ya ha sido tratado y tiene una mínima cantidad de sólidos disueltos, por lo cual es de esperarse que sea ideal para su utilización como agua de alimentación de caldera.

El estudio realizado, permite aplicar los conocimientos obtenidos en la carrera de ingeniería química a fin de determinar los beneficios que representa, para la planta cosmética en cuestión, la introducción de la línea de retorno de condensado en el sistema de generación de vapor.

1. ANTECEDENTES

1.1. Situación de la empresa

Antes de iniciar el estudio realizado en este trabajo de graduación, fue importante conocer las condiciones en que trabaja el sistema de producción de vapor en la planta de fabricación. Esas condiciones actuales son:

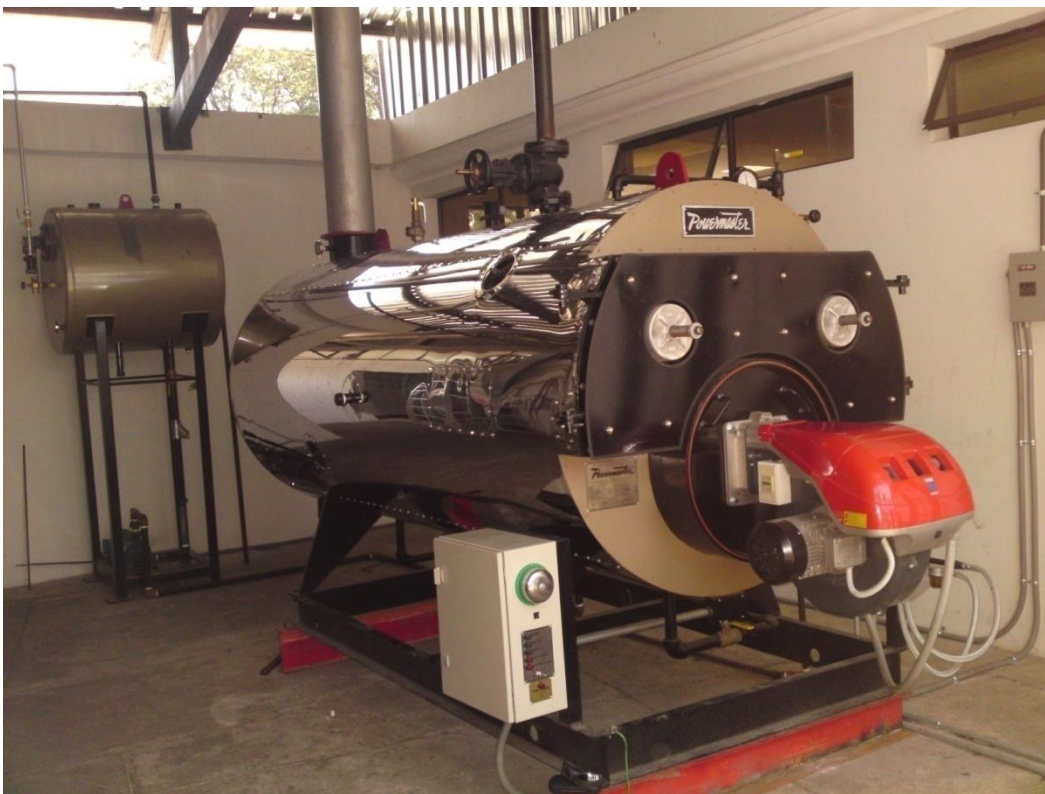
Se dispone de una caldera pirotubular automática Powermaster / Notholt de 60 H.P., horizontal de tres pasos, con capacidad evaporativa de 939 kg/h y superficie de calefacción de 27.882 m². El quemador marca Riello modelo RL 100 para uso de diesel, con una presión de trabajo de 7 kg/cm².

Se encuentra ubicada en una planta industrial dedicada a la fabricación de productos cosméticos y de higiene. Abastece directamente nueve marmitas destinadas a la producción de cosméticos y productos de higiene. Las máquinas trabajan diariamente de lunes a viernes en horario de 7:00 a 17:00 hrs y el día sábado de 7:00 a 15:00 hrs; durante esta jornada el sistema de producción de vapor debe encontrarse trabajando para cumplir con las necesidades de producción.

Los controles son llevados por el departamento de mantenimiento de la planta y consisten en llevar registros de mantenimiento correctivo y preventivo del equipo, así como un registro de la presión de operación con el objetivo de llevar un registro sobre el funcionamiento y detectar situaciones irregulares. No se encontraron datos sobre el consumo de agua y combustible en el proceso de generación de vapor.

El agua que ingresa en la caldera recibe un tratamiento previo, el cual consiste en primera instancia en cloración del agua potable obtenida de un pozo mecánico. Luego pasa por un sistema de filtros de sedimentos y de carbón activado, un suavizador de agua y un desmineralizador que contiene resinas iónicas en una columna mixta, las cuales son analizadas periódicamente para determinar su tiempo de duración y garantizar el buen funcionamiento de las mismas. A las condiciones en que se trabaja se efectúa cambio de resinas cada 3 años. Por último pasa por una lámpara de rayos ultravioleta antes de ingresar al tanque de alimentación de la caldera.

Figura 1. **Caldera pirotubular de la planta de fabricación de productos cosméticos**



Fuente: elaboración propia.

1.2. Estudios previos realizados

Debido a las tendencias en los últimos años de bajar costos y buscar las posibilidades para obtener más con menos, las industrias se han visto en la necesidad de reevaluar los sistemas y procesos que se encuentran en marcha a fin de rediseñar o cambiar los puntos que representarían un aumento en ganancias y/o reducción en costos.

En lo referente a la producción de vapor, la tendencia es buscar producir más vapor a menor costo por medio de aumentar la eficiencia en la que trabajan los sistemas.

Al respecto se han realizado diversos estudios, principalmente desde el punto de vista del ingeniero mecánico o mecánico industrial en los cuales se han realizado diferentes propuestas, tanto para incrementar la eficiencia en los sistemas de producción de vapor como en readecuar los sistemas para recuperar los condensados en las diferentes industrias. Tales como:

- Análisis térmico de la caldera pirotubular marca Power Master, modelo 54 del Ingeniero Mecánico Industrial, Fidel Pérez Macal, en 2005.
- Análisis termodinámico para el mejoramiento de la eficiencia de operación de la caldera del ingenio Tumulá por el Ingeniero Mecánico Rufino Siquiná en 2009.
- Recuperación de condensado en serpentines de tanques transportadores de grasa, caso fábrica de luz S.A. del Ingeniero Mecánico Mario Antonio Tobar en 1995.

- Estudio para el rediseño de la red de vapor y retorno de condensado para el Hospital General San Juan de Dios por el Ingeniero Mecánico Henry Marot Palacios en 2007.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Primera ley de la termodinámica

Conocida ésta como el principio de la conservación de la energía indica que; la energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma.

Existen seis tipos de energía:

- El trabajo: representa una transferencia entre el sistema y el entorno.
- El calor: se manifiesta como un flujo de energía que fluye por la frontera del sistema debido a una diferencia de temperatura con el entorno.
- La energía cinética: se asocia a la velocidad relativa del sistema respecto al reposo.
- La energía potencial: es la que posee el sistema en relación a su masa sobre un campo gravitacional o electromagnético.
- La energía interna: es la medida macroscópica de energías molecular, atómica y subatómica.
- La entalpía: representa la energía interna más el cambio debido a diferenciales de presión y/o volumen.

En un sistema en el que no hay cambios de energía cinética y potencial, el contenido de energía puede ser elevado por medio de transferencia de calor en forma de conducción, convección, radiación o por expansión mecánica (trabajo). Es decir que los cambios en la energía interna (ΔU) de un sistema se manifiestan como generación de trabajo (W) y calor (Q).

El cambio de energía interna en un sistema cerrado puede ocurrir por la realización de trabajo sobre él o por él, y por la extracción o adición de calor al mismo. Si se considera el calor ingresado al sistema como incremento de energía, y el trabajo realizado por el sistema como un consumo de energía, y adoptando como positivo todo ingreso al sistema y negativo las salidas se obtiene que:

$$\Delta U = Q - W \quad \text{y} \quad Q = \Delta U - W$$

Donde:

ΔU = cambio en la energía interna

Q = calor

W = trabajo

Para un sistema abierto, se debe considerar la transferencia de materia a través de las fronteras del sistema, para lo cual se debe de realizar algún tipo de trabajo. En ese caso tenemos que:

$$\Delta U = W + Q - \Delta(H + K + P)$$

Donde:

ΔU = cambio en la energía interna

Q = calor

W = trabajo

H = entalpía

K = Energía cinética

P = Energía potencial

Donde el ultimo término se asocia a la masa que entra y sale del sistema. Para un régimen estacionario en el que no hay acumulación de energía se simplifica como $W + Q = \Delta(H + K + P)$.

2.1.1. Calor

El calor es la manifestación de transferencia de energía, sin transferencia de masa a través de la frontera de un sistema cuando no puede considerarse como trabajo. Una vez el calor entra sobrepasa las fronteras hacia el sistema, el calor pasa a formar parte de la energía interna del sistema.

En un proceso en el que no hay cambio de energía cinética ni potencial, en el que además no se efectúa trabajo PV, el flujo de calor se expresa así:

$$Q = mC_p \Delta T$$

Donde:

Q = flujo de calor

m = masa del fluido

C_p = capacidad calorífica

ΔT = cambio de temperatura

2.1.2. Entalpía

La entalpía se define como el contenido de energía interna de una sustancia más la energía resultante del trabajo que ha actuado sobre la misma. En un proceso de flujo, esta energía de trabajo se debe a la fuerza que ha hecho fluir la sustancia, producto de la presión por el volumen.

Considerando que el trabajo realizado por el sistema es únicamente por expansión, se obtiene que:

$$W = PV \quad \text{y} \quad H = U + PV$$

Donde:

W = trabajo

P = presión

V = volumen

H = entalpía

U = energía interna

En un sistema en el cual no se realiza trabajo de expansión o de otro tipo, se obtiene entonces que:

$$\Delta H = \Delta U = Q$$

Donde:

ΔH = cambio en entalpía

ΔU = cambio en energía interna

Q = calor

2.2. Transferencia de calor

Es el proceso mediante el cual se intercambia calor entre cuerpos o partes distintas de un mismo cuerpo, que se encuentran a diferente temperatura. Como consecuencia, el calor fluye del objeto de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja.

El calor puede transmitirse por conducción, convección o radiación. Aún cuando éstos pueden existir conjuntamente en un proceso, generalmente existe uno que domina sobre el resto.

2.2.1. Conducción

Este mecanismo ocurre por contacto directo entre dos cuerpos, sin que tenga lugar un movimiento observable de la materia. Está regido por la ley de Fourier, la cual indica que la velocidad de transferencia de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo.

$$Q = k A_c \Delta T/E$$

Donde:

Q = calor transferido

k = factor de proporcionalidad

A_c = área de contacto

ΔT = diferencia de temperatura

E = longitud del cuerpo desde T₁ a T₂

El factor de proporcionalidad depende directamente del material y se denomina conductividad térmica

2.2.2. Convección

Este mecanismo se debe al movimiento de un fluido. Un fluido adyacente a una superficie caliente, absorbe calor, y luego lo transmite al resto del fluido al mezclarse con él. Cuando hay un gradiente de temperatura en un fluido, es seguro que exista un movimiento y por lo tanto la convección.

La convección puede ser de dos tipos, la primera es la natural o libre, es cuando se debe a la búsqueda natural de equilibrio dentro del fluido y a la fuerza gravitacional como resultado de las variaciones de densidad en la transferencia de calor.

La segunda es la convección forzada, cuando se introduce algún mecanismo para realizar el movimiento en el fluido y acelerar o incrementar la transferencia de calor por medio de someter el fluido a gradientes de presión o movimiento de materia.

La ecuación que define la transferencia de calor por convección es la siguiente:

$$Q = U A \Delta T$$

Donde:

Q = calor

U = coeficiente de convektividad

A = área de contacto

ΔT = diferencia de temperatura

2.2.3. Radiación

A diferencia de los otros mecanismos, para la radiación no es necesario que los cuerpos se encuentren en contacto directo, sino que puede haber espacio entre ellos. Éste está relacionado directamente con la longitud de ondas electromagnéticas que emiten los cuerpos en función de su temperatura.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo. Está representada en la ley de distribución de Planck.

$$W = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{e^{hc/k\lambda T} - 1}$$

Donde:

W = poder emisor monocromático del cuerpo negro

h = constante de Plank

c = velocidad de la luz

λ = longitud de onda de la radiación

k = constante de Boltzmann

T = temperatura absoluta

2.3. Calderas y máquinas de vapor

2.3.1. Producción de vapor

Para la transferencia de calor, uno de los métodos más efectivos es la utilización de vapor. Cuenta con la ventaja que el agua es fácil de encontrar casi en cualquier parte y no necesita muchas modificaciones para poder ser utilizada en un equipo de generación de vapor. El vapor generado es fácil de transportar y contiene gran cantidad de calor como resultado del cambio de fase al pasar de líquido a vapor.

Vapor se refiere al agua en su fase gaseosa, éste es generado como consecuencia de suministrar energía al agua consiguiendo que se eleve su temperatura hasta su punto de ebullición, logrando que la presión de vapor sea mayor a la tensión superficial y por lo tanto, permitiendo el cambio de fase.

A la energía necesaria para elevar la temperatura de un líquido hasta su punto de ebullición se le llama calor sensible, mientras que la energía necesaria para que ocurra el cambio de fase se conoce como calor latente.

2.3.1.1. Vapor saturado

Se le llama así, cuando se encuentra en equilibrio con su fase líquida. Cuando este es transportado desde su generación hacia el punto en el que se utilizará, existe una pequeña condensación debido al enfriamiento a su paso por la tubería. Aunque esta condensación sea mínima, es importante tomar en cuenta que la cantidad total generada de vapor, no será la misma cantidad que llegará a los equipos en los que será utilizado.

2.3.1.2. Vapor sobrecalentado

Es el que se encuentra a una temperatura mayor que la de saturación a una presión determinada.

2.3.1.3. Tablas de vapor

La utilización de tablas de vapor es de mucha importancia para conocer las propiedades del vapor del agua. Estas tablas relacionan entalpía, volumen específico, entropía, temperatura y presión. Para un vapor saturado basta con conocer el valor de una de estas propiedades para obtener todas las demás. En el caso del vapor sobrecalentado, es necesario conocer dos de las mismas.

2.3.2. Combustión

Es el proceso en el cual se libera de una forma controlada, parte de la energía o poder calorífico contenido en un combustible. Una reacción de combustión se lleva a cabo con la presencia del combustible, el oxígeno y el material comburente.

La combustión puede ser completa, cuando en presencia de oxígeno en exceso todos los productos combustibles sufren la oxidación generándose CO_2 , o incompleta, cuando por falta de oxígeno no se alcanza a oxidar por completo la totalidad del carbono contenido en el combustible generando como subproductos otros compuestos como el CO .

2.3.2.1. Poder calorífico

Se refiere a la cantidad de energía que es requerida para elevar la temperatura de una sustancia en un grado. Esta energía puede ser proporcionada mediante la transferencia de calor en procesos específicos.

También se puede definir como la cantidad de energía que desprende un combustible al ser oxidado en forma completa.

El poder calorífico de un combustible puede calcularse por principio de conservación de la energía como la suma del poder calorífico de todos los elementos simples que lo forman multiplicados por la cantidad centesimal en que intervienen.

El otro método para calcular este poder calorífico es mediante la utilización de calorímetros, en los cuales se quema una cierta cantidad de combustible y se mide la cantidad de calor producido como energía térmica.

2.3.2.2. Gases de combustión

Estos se dan como producto de la combustión. Mientras se transportan a lo largo de las tuberías ceden gran parte de su energía al agua convirtiéndola en vapor. Éstos al final son liberados hacia el ambiente a través de la chimenea.

2.3.3. Tratamiento de agua de alimentación

Las fuentes de suministro de agua existentes son entubadas, superficiales, subterráneas o aguas servidas. El agua que ingresa en una

caldera debe ser tratada, ya que contiene sólidos disueltos de minerales o impurezas que pudieran dañar la caldera o minimizar la transferencia de calor.

También es importante en el tratamiento de las aguas eliminar el contenido de minerales, lo que se conoce como la dureza del agua y mantener el pH entre 9.5 y 11.5 (ligeramente alcalina) a fin de evitar daños en el equipo.

Algunos de los propósitos de tratar el agua son:

- Evitar incrustaciones y taponamientos
- Impedir fatiga en los metales de la caldera
- Impedir formación de espumas
- Evitar y proteger el equipo contra la corrosión
- Impedir pérdidas de calor por purgas frecuentes
- Disminuir los costos de operación y mantenimiento

Las formas de tratamiento de agua pueden ser externos o internos; entre los sistemas de tratamiento externos están:

- Tanques de sedimentación
- Filtros de arena
- Tanques de resina
- Tren de ósmosis inversa

El tratamiento interno o químico tiene como principal objetivo prevenir corrosión e incrustaciones. Algunos de los aditivos químicos utilizados en el tratamiento de agua son:

- Hidracina
- Sulfito de sodio
- Aminas de neutralización
- Fosfatos
- Zeolitas

Figura 2. **Columnas de tratamiento de agua en planta de fabricación de cosméticos**



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Eficiencia

La definición para cualquier equipo o sistema en general, es la relación entre lo obtenido o producido y lo utilizado o empleado para su generación o producción.

En el caso de la producción de vapor, la eficiencia térmica se refiere a la cantidad de energía contenida en el vapor generado respecto a la cantidad de energía suministrada en forma de combustible a la caldera o máquina de vapor.

Es decir, que es una medida del aprovechamiento del combustible para generar una cierta cantidad de vapor.

No es factible una máquina de vapor o caldera que trabaje sin pérdidas de calor, por lo que la eficiencia siempre es menor que el 100%; sin embargo, con las prácticas adecuadas de operación y mantenimiento, pueden reducirse las pérdidas. La eficiencia para la caldera está dada por:

$$e = \frac{M_a(h_v - h_a)}{M_c PC}$$

Donde:

e = eficiencia de la caldera

M_a = masa de agua transformada en vapor

h_v = entalpía de vapor

h_a = entalpía de agua

M_c = masa de combustible utilizado

PC = poder calorífico del combustible

2.3.5. Vapor flash

Cuando un vapor condensado, líquido que se encuentra saturado, se expande súbitamente hacia un espacio con presión más baja, parte de este condensado se transforma nuevamente en vapor como consecuencia de esta expansión. A éste se le conoce como vapor instantáneo, vapor de *flasheo* o vapor *flash*.

Tabla I. Conversión a vapor instantáneo

Procesos Químicos Industriales
Ref. M. Santizo, Uso eficiente de la Energía Térmica y Eléctrica
[2,006]

Conversión a vapor flasheado al descargar a un tanque a menor presión

presión de vapor (psig)	Presión en el tanque de descarga										
	0	2	5	10	15	20	30	40	60	80	100
5	1.70	1.00	0.00								
10	2.90	2.20	1.40	0.00							
15	4.00	3.20	2.40	1.10	0.00						
20	4.90	4.20	3.40	2.10	1.10	0.00					
30	6.50	5.80	5.00	3.80	2.60	1.70	0.00				
40	7.80	7.10	6.40	5.10	4.00	3.10	1.30	0.00			
60	10.00	9.30	8.60	7.30	6.30	5.40	3.60	2.20	0.00		
80	11.70	11.10	10.30	9.00	8.10	7.10	5.50	4.00	1.90	0.00	
100	13.30	12.60	11.80	10.60	9.70	8.80	7.00	5.70	3.50	1.70	0.00
125	14.80	14.20	13.40	12.20	11.30	10.30	8.60	7.40	5.20	3.40	1.80
160	16.80	16.20	15.40	14.10	13.20	12.40	10.60	9.50	7.40	5.60	4.00
200	18.60	18.00	17.30	16.10	15.20	14.30	12.80	11.50	9.30	7.50	5.90
250	20.60	20.00	19.30	18.10	17.20	16.30	14.70	13.60	11.20	9.80	8.20
300	22.70	21.80	21.10	19.90	19.00	18.20	16.70	15.40	13.40	11.80	10.10
350	24.00	23.30	22.60	21.60	20.50	19.80	18.30	17.20	15.10	13.50	11.90
400	25.30	24.70	24.00	22.90	22.00	21.10	19.70	18.50	16.50	15.00	13.40

Fuente: SANTIZO, M. *Uso eficiente de la energía térmica y eléctrica*. p.1.

2.3.6. Componentes de la caldera

2.3.6.1. Hogar

Es donde se realiza la combustión. En una caldera pirotubular se encuentra ubicado en el centro del cuerpo de ésta. El interior del horno está sometido a altas temperaturas, así como a un ambiente corrosivo. Está formado por varias capas:

- Capa *Firebrick* (compuesta de kaolín más 85% de manganeso)
- Capa *Fire-Clav* (ladrillo de arcilla salicilato alumina + carburo de silicio)
- Refractario plástico (fibra de vidrio y lana mineral con arcilla)
- Material refractario (cerámico)

2.3.6.2. Cuerpo de caldera

Es el área por donde circula el agua y el vapor dentro de la caldera. Dentro de ella existen unos baffles que permiten al agua circular en varios sentidos y entrar en contacto con los tubos facilitando la transferencia de calor.

2.3.6.3. Tubos de caldera

En una caldera pirotubular, los gases producidos en la combustión circulan por los tubos. Éstos están dispuestos en arreglos de tres o cuatro tubos (arreglo triangular o cuadrado), los cuales se ubican dentro de la caldera realizando varios pasos para entrar en contacto con el agua de la caldera.

El grosor de la tubería depende de la presión de operación y la tensión permisible del acero. Las más utilizadas son cédula 40 en pirotubulares y cédula 80 en acuatubulares.

2.3.6.4. Chimenea

Es un conducto hacia la atmósfera por el cual escapan los gases generados en la combustión, después de que han cedido la mayor parte posible de calor.

En una caldera pirotubular, este ducto está conectado en la parte interior con el hogar en la parte opuesta al quemador, puede o no tener una compuerta o dámper, que permite variar el flujo de salida de los gases de combustión. La apertura de este dámper puede también ser de interés para mejorar la eficiencia de la combustión.

2.2.2.2. Válvula de seguridad

Este dispositivo funciona como medio para aliviar la presión dentro de la caldera, impidiendo así, que la presión sea demasiado elevada al activarse automáticamente a una determinada presión. Al abrirse este dispositivo deja escapar un poco de vapor y baja la presión inmediatamente.

Las válvulas de seguridad deben estar conectadas directamente a la caldera, sin presentar válvulas intermediarias de ningún tipo.

Figura 3. **Chimenea en la planta cosmética**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.3. Medidores de nivel

Éstos actúan detectando la cantidad de agua y vapor que existe dentro de la caldera, de tal forma que al bajar el nivel de agua por la producción de vapor, se activa el dispositivo permitiendo el ingreso de agua de alimentación a la caldera.

Figura 4. **Medidor de nivel en la planta cosmética**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.4. Válvula de purga

Se encuentra ubicada en la parte inferior de la caldera. Permite eliminar cierta cantidad de agua con el propósito de extraer lodos, sedimentos y espumas que se han acumulado y que deben retirarse para tener una buena transferencia de calor dentro de la caldera.

Se utiliza también como forma de eliminar agua del sistema de la caldera de modo que pueda añadirse agua nueva a fin de mantener la cantidad de sólidos disueltos a una baja concentración.

2.2.2.5. Bombas

Tienen la finalidad de llevar hacia la caldera el agua de alimentación y el combustible, a fin de realizar el proceso de producción de vapor en la caldera.

2.4. Recuperación de calor en la caldera

Las principales fuentes de pérdida de calor en la generación de vapor son los gases de chimenea, las purgas y los sistemas de trampas de vapor cuando no son adecuados.

La mayoría de métodos para recuperar calor en las calderas se enfocan en la recuperación del calor en los gases de chimenea. Esto se logra por medio de intercambiadores de calor llamados precalentadores y economizadores.

El precalentador se utiliza con el fin de calentar el aire de combustión que ingresa en el quemador de la caldera, haciendo más efectiva la combustión.

El economizador es un serpentín utilizado con el objetivo de recuperar el calor de chimenea para calentar el agua de alimentación de la caldera, reduciendo así la cantidad de combustible a utilizar.

Existen otros métodos para recuperar el calor en el proceso de generación de vapor, tal como el retorno de los condensados.

2.4.6. Retorno de condensado

Durante los procesos de transferencia de calor que involucran vapor, el vapor cede su calor latente (el cual representa la mayor cantidad de energía contenida), pero el calor sensible es retenido por el condensado. El propósito de una línea de retorno, es recircular el condensado a la caldera con el fin de aprovechar parte del calor contenido en el mismo y hacer más eficiente el proceso.

Además del contenido energético en el condensado, esta agua es básicamente agua destilada, por lo cual es ideal para el uso como agua de alimentación de caldera. También, por contener muy pocos sólidos disueltos, reduce la necesidad de realizar purgas en la caldera para mantenimiento por incrustaciones. Con la introducción de una línea de retorno de condensado se logran los siguientes ahorros:

$$A_a = (1-f)MtC_a \quad \text{y} \quad A_c = (1-f) Mt\Delta hC_c / \eta$$

Donde:

A_a, A_c = ahorro en tratamiento de agua y combustible respectivamente

f = fracción de vapor flash

M = cantidad de condensado recuperado

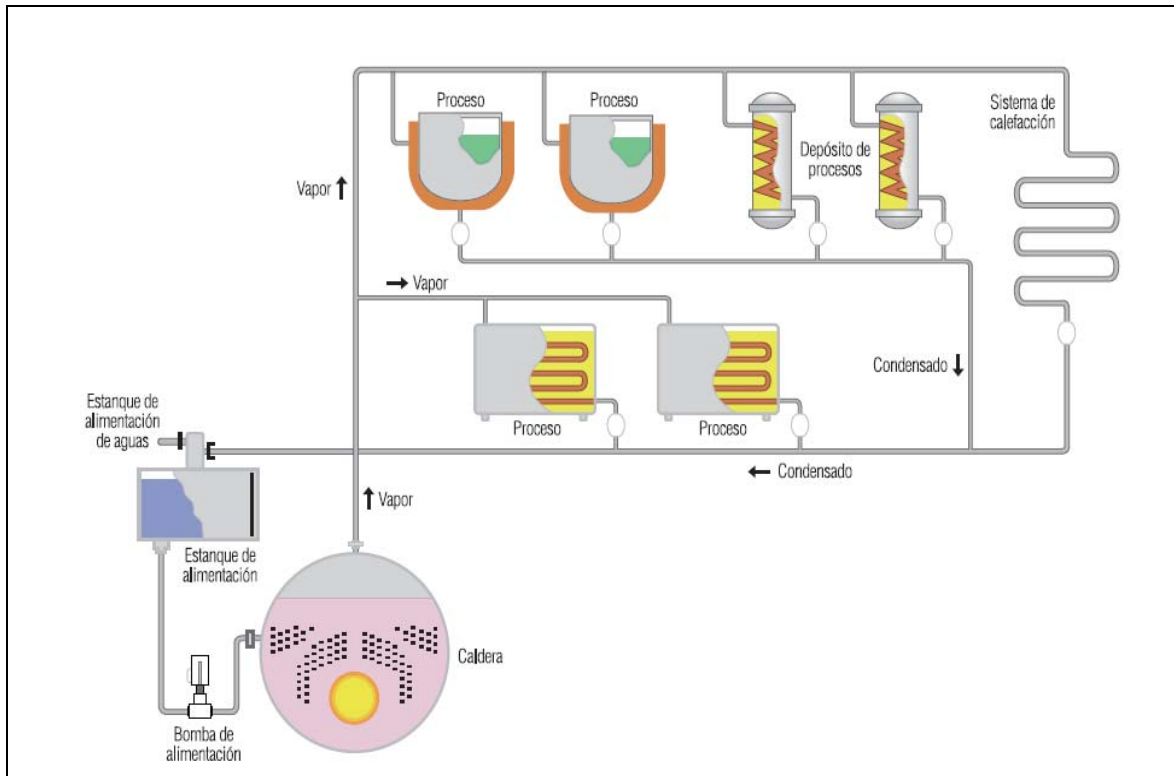
C_a, C_c = costo de tratamiento de agua y combustible respectivamente

Δh = diferencial de entalpía

η = eficiencia de caldera

t = tiempo de operación

Figura 5. **Ejemplo de línea de retorno de condensado**



Fuente: Metrogas. *Retorno de condensado*. p. 5.

2.4.7. **Diseño de las líneas de condensado**

El primer aspecto a tomar en cuenta en el diseño de una línea de retorno de condensado, es la producción de vapor *flash* en la línea, pues si se toma en cuenta como si en la tubería circulara únicamente el condensado, puede cometerse el error de elegir una tubería con un diámetro demasiado pequeño, con esto se corre el riesgo de que la presión aumente demasiado en la tubería y como consecuencia el condensado puede llegar a inundar los equipos consumidores de vapor.

La solución más sencilla consiste en dirigir cada salida de condensado de cada equipo directamente hacia la caldera, pero es más práctico y económico utilizar una línea de retorno común para todos los equipos.

La dimensión de este tipo de tuberías puede realizarse en cuatro etapas:

- Calcular la cantidad de condensado a producir en cada equipo.
- Calcular el porcentaje de condensado que se transformará en vapor *flash*.
- Calcular la cantidad de vapor *flash* que circulará por la tubería
- Dimensionar la tubería como si por ella circulara únicamente vapor, para ello son útiles las tablas II y III.

Tabla II. **Porcentaje de vapor *flash***

PORCENTAJE EN PESO DEL CONDENSADO QUE SE CONVIERTE EN VAPOR FLASH						
Presión primaria (barg)	PRESIÓN SECUNDARIA (barg)					
	0	0,2	0,5	1	2	4
0,2	0,97					
0,5	2,21	1,25				
1	3,90	2,94	1,71			
2	6,38	5,44	4,22	2,54		
4	9,88	8,96	7,77	6,13	3,65	
6	12,40	11,50	10,33	8,72	6,28	2,70
8	14,44	13,55	12,40	10,81	8,41	4,88
10	16,12	15,24	14,11	12,53	10,17	6,69
12	17,63	16,76	15,63	14,08	11,74	8,30
14	18,95	18,09	16,98	15,44	13,12	9,72
16	20,15	19,30	18,19	16,67	14,37	11,00
18	20,73	19,88	18,78	17,26	14,97	11,62
21	22,76	21,93	20,84	19,35	17,10	13,80

Fuente: SEDITESA. *Hoja técnica # 9. p. 2.*

Tabla III. Caudal de vapor *flash* (kg/h)

PRESIÓN (barg)	VELOCIDAD (M/S)	DN, mm									
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	
0,5	5	3	6	9	16	22	36	60	83	139	
	10	7	12	19	33	45	72	120	166	279	
	20	14	24	39	67	90	144	241	332	559	
	25	18	30	49	84	113	181	301	415	699	
	30	21	36	59	101	135	217	361	498	839	
1	5	4	7	12	22	29	47	78	108	183	
	10	9	15	25	44	59	94	157	217	366	
	20	19	31	51	88	118	189	315	434	732	
	25	23	39	64	110	148	237	394	543	915	
	30	28	47	77	132	177	284	473	651	1098	
2	5	6	11	18	32	42	69	115	158	267	
	10	13	23	37	64	86	138	230	317	535	
	20	27	46	75	129	173	277	461	635	1071	
	25	34	58	94	161	216	346	576	794	138	
	30	41	69	113	193	260	416	692	953	1606	
3	5	9	15	24	42	56	90	151	208	350	
	10	18	30	49	84	113	181	302	416	701	
	20	36	60	99	169	227	363	604	832	1403	
	25	45	76	124	211	284	454	755	1040	1754	
	30	54	91	149	253	340	545	906	1248	2104	
4	5	1	18	30	52	70	112	186	256	432	
	10	22	37	61	104	140	224	372	513	865	
	20	45	75	122	208	280	448	745	1027	1730	
	25	56	93	153	261	350	560	932	1283	2163	
	30	67	112	183	313	420	672	1118	1540	2596	
5	5	13	22	36	61	83	133	221	304	513	
	10	26	44	72	123	166	266	442	609	1027	
	20	53	89	145	247	332	532	885	1219	2055	

Fuente: SEDITESA. Hoja técnica # 9. p. 2.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para obtener la eficiencia térmica del sistema y diseñar la línea de retorno de condensado hay que tomar en cuenta las siguientes variables:

- Gasto de agua
- Temperatura del agua de alimentación
- Presión de vapor a la salida de la caldera
- Tipo de combustible utilizado
- Gasto de combustible
- Poder calorífico del combustible
- Costo del combustible
- Cantidad de condensado a la salida de los equipos
 - Cantidad de agua a calentar
 - Temperatura inicial del agua a calentar
 - Temperatura final del agua caliente
- Temperatura del condensado
- Porcentaje de condensado perdido por evaporación (vapor flash)
 - Diámetro de la tubería de salida del condensado (criterio de diseño)
- Eficiencia del sistema

En el análisis financiero es importante conocer las siguientes variables

- Costo de la introducción de la propuesta
 - Costos de materiales
 - Costo de instalación

- Ahorro mensual a obtener con la propuesta
 - Ahorro en combustible
 - Ahorro en consumo de agua
 - Ahorro en tratamiento de agua de alimentación

- Tasa de interés activa
- Tiempo de vida de la línea de retorno
- Relación beneficio costo

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio para la propuesta se realizó en una planta cosmética. Las áreas en que se trabajaron fueron el de caldera y el de producción para la segunda parte del estudio. Específicamente se estudió la caldera, tanque de combustible, tanque de agua de alimentación y marmitas de fabricación.

La toma de datos se realizó durante la jornada laboral (7:00 a 16:00 hrs), debido a que se podrán así obtener datos reales de las necesidades que se tienen en la planta cosmética.

3.3. Recurso humano disponible

Para la realización de este estudio se contó con el apoyo e intervención de las siguientes personas.

- Investigadora: Heidi Andrea Lara Molina
- Asesor: Ing. Federico Salazar
- Gerente de Producción de la planta cosmética: Licda. Perla de León
- Jefe de Mantenimiento de la planta cosmética: Ing. Antonio Echeverría
- Un operario de mantenimiento de la planta cosmética: Eduardo Oliva

3.4. Recurso material disponible

Para la toma de datos se utilizó el siguiente recurso material:

- Manómetro ubicado en la caldera
- Varilla medidora de nivel para tanque de combustible
- Medidor de nivel ubicado en tanque de agua
- Termómetro ubicado en el tanque de agua de alimentación
- Medidores de nivel ubicados en los tanques de fabricación
- Termómetro para los tanques de fabricación
- Manómetro ubicado en la entrada de vapor de los tanques de fabricación
- Manómetro ubicado en la salida de condensado de los tanques de fabricación
- Cinta métrica

3.5. Técnica cuantitativa

Para este estudio, en particular, fue necesario cuantificar las entradas y salidas en la caldera para, por medio de balances energéticos que involucran la relación entre el combustible, agua de alimentación, vapor de salida y gases de combustión, determinar la eficiencia del equipo (para consultar el detalle del balance ver sección 3.7 de procesamiento de la información).

Todo esto se cuantificó por medio de mediciones directas de la presión de operación en la caldera y temperatura de entrada del agua. También se realizó la medición de los flujos de agua y combustible en relación con el tiempo.

Fue necesario realizar la toma del dato de la salida de condensado al final de los procesos de fabricación, para así determinar la eficiencia nueva que se puede obtener al introducir la línea de retorno. Debido a que este dato no podía ser obtenido por medición directa, pues los equipos únicamente cuentan con medidores de presión a la salida del condensado, se realizaron mediciones a fin de obtener el dato por medio de balances energéticos que involucran relaciones entre el medio de calentamiento (vapor) y el material a calentar (agua dentro de la marmita).

En este caso se midieron las temperaturas inicial y final del agua a calentar en la marmita de fabricación, a fin de establecer las entalpías correspondientes. También, se tomó medida de la presión de entrada del vapor y salida del condensado para, igualmente por medio de tablas de vapor, conocer las entalpías y realizar el balance.

Se estima que el dato obtenido en este último balance no será cien por ciento real en la línea de retorno, debido a que se tiene tanto pérdida de

condensado como de temperatura a lo largo de la tubería. El condensado perdido se debe al porcentaje del mismo que volverá a transformarse en vapor por *flasheo*. Éste se calculó en el estudio. La pérdida en la temperatura se espera sea mínima si la tubería de línea de retorno se diseña con un adecuado aislamiento.

En la parte final se realizó un análisis financiero en el cual se tomaron en cuenta los gastos que representa introducir la línea de retorno y el ahorro obtenido al poner en práctica la propuesta presentada.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para el presente estudio se realizaron dos procedimientos para la toma de datos; uno en el área de caldera y el otro para los equipos de fabricación.

3.6.1. Recolección de información en la caldera

- En la varilla medidora de nivel del combustible, se anotó la medida inicial.
- En el tanque de alimentación de agua a la caldera, se tomó la medida inicial de nivel.
- Transcurrido cierto tiempo se tomaron las cantidades finales de combustible y agua.
- En el manómetro de salida de vapor de la caldera, se anotó la presión a la que sale el vapor de la caldera.
- En el termómetro ubicado en el tanque de alimentación de agua, se midió la temperatura del agua antes de ingresar a la caldera.
- Dadas las diferencias en dimensiones de los tanques, se realizó la medición de combustible por día durante 14 días, mientras en el agua se realizó tres veces al día durante 5 días.

- Tabulación de datos.

3.6.2. Recolección de información en los equipos de fabricación

- Medición de la cantidad de agua a calentar en el equipo.
- Medición de la temperatura inicial del agua a calentar
- Se procedió a calentar
- Toma del dato de la presión de operación en el manómetro ubicado en la marmita.
- Al finalizar el calentamiento, se midió la temperatura final del agua caliente.
- Realización de tres mediciones en cada equipo.
- Tabulación de datos.

3.7. Tabulación ordenamiento y procesamiento de la información

Para el ordenamiento y tabulación de los datos obtenidos, se utilizaron las tablas de toma de datos en caldera y toma de datos en marmita. Ver apéndices III y IV. Para el resultado de la eficiencia y determinar el aumento de la misma con la introducción de la línea de retorno de condensado, la información obtenida se manejó de la siguiente forma:

3.7.1. Balance de energía

El balance general para este caso se puede expresar de la siguiente forma:

$$E_c + E_a = E_v + E_g$$

Donde:

E_c = energía en el combustible

E_a = energía en el agua de alimentación

E_v = energía en el vapor de salida

E_g = energía en los gases de combustión

Para el agua y vapor la energía puede expresarse fácilmente como masa por entalpía. Para el combustible, se expresa en términos de capacidad calorífica.

Así:

$$M_c PC + M_a h_a = M_v h_v + E_g$$

Donde:

M_c = gasto másico de combustible

PC = poder calorífico del combustible

M_a = gasto másico de agua de alimentación

h_a = entalpía para el agua a las condiciones de entrada

M_v = cantidad de vapor producido

h_v = entalpía para el vapor a las condiciones de operación de la caldera.

E_g = energía en los gases de combustión

Si se considera que la caldera se encuentra trabajando de forma continua para un ciclo de operación, el total de agua que ingresa en la caldera es transformado en vapor, por lo que en este ciclo

$$M_a = M_v$$

Donde:

M_a = gasto másico de agua de alimentación

M_v = cantidad de vapor producido

De lo anterior se puede concluir que:

$$M_c PC - E_g = M_a (h_v - h_a)$$

Donde:

M_c = gasto másico de combustible

PC = poder calorífico del combustible

M_a = gasto másico de agua de alimentación

h_a = entalpía para el agua a las condiciones de entrada

h_v = entalpía para el vapor a las condiciones de operación de la caldera.

E_g = energía en los gases de combustión

Para efectos de determinar la eficiencia térmica, se considera pérdida a la energía térmica contenida en los gases de combustión, por lo que se dirá que si la eficiencia de la caldera fuera del 100%

$$M_c PC = M_a (h_v - h_a)$$

Y

$$1 = \frac{M_a(h_v - h_a)}{M_c PC}$$

Donde:

M_c = gasto másico de combustible

PC = poder calorífico del combustible

M_a = gasto másico de agua de alimentación

h_a = entalpía para el agua a las condiciones de entrada

h_v = entalpía para el vapor a las condiciones de operación de la caldera.

Debido a que siempre habrán pérdidas energéticas en la salida de los gases de combustión y en la realidad existen otras en el sistema, por ejemplo, el calor alrededor de la caldera como manifestación de una transferencia de calor hacia el ambiente y otras pérdidas que pudieran haber por fugas, al considerar la eficiencia como la relación entre la energía aprovechada y la energía consumida, se está tomando en cuenta todo tipo de pérdidas que pudieran haber en la operación de la caldera.

De ahí se obtiene que la eficiencia se puede representar así

$$\eta = \frac{M_a(h_v - h_a)}{M_c PC}$$

Donde:

η = eficiencia térmica de la caldera

M_a = gasto másico de agua de alimentación

h_a = entalpía para el agua a las condiciones de entrada

h_v = entalpía para el vapor a las condiciones de operación de la caldera

M_c = gasto másico de combustible

PC = poder calorífico del combustible

Sustituyendo datos y tomando h_v y h_a por interpolación de tablas de vapor para el vapor a 9,806 kPa y el agua a 27°C se obtiene:

$$\eta = \frac{(88,19 \text{ kg/h}) (2\,778,2 \text{ kJ/kg} - 122,51 \text{ kJ/kg})}{(7,2687 \text{ kg/h})(43\,200 \text{ kJ/kg})}$$

$$\eta = 0,7458666 \times 100$$

$$\eta = 74,58666$$

3.7.2. Línea de retorno de condensado

También se muestra en los resultados la recuperación de condensado en cada equipo y el total diario calculado de la siguiente forma:

$$M = M_m (h_f - h_o) / (h_v - h_c)$$

Donde:

M = cantidad de Condensado

M_m = cantidad de agua a calentar en la marmita

h_f = entalpía del agua en la marmita a la temperatura final del calentamiento

h_o = entalpía del agua en la marmita a la temperatura antes del calentamiento

h_v = entalpía del vapor a la presión de operación en el equipo

h_c = entalpía del condensado a la presión de operación

Se tomará como ejemplo el cálculo para la marmita D (capacidad 1200 kg). Sustituyendo datos y obteniendo las entalpías por interpolación en tablas de vapor y agua para las condiciones de entrada y salida se tiene:

$$M = \frac{1\,000\text{ kg} (321,975\text{ kJ/kg} - 114,065\text{ kJ/kg})}{(2\,727,5531\text{ kJ/kg} - 568,7820\text{ kJ/kg})}$$

$$M = 96,3094\text{ kg}$$

No todas las marmitas son utilizadas igual cantidad de veces durante el día, esto depende del producto que se fabrica en las mismas, pues algunas realizan 1 fabricación diaria, mientras otras 2.

El total de condensado recuperado por día se calculó como la sumatoria de los condensados individuales por la cantidad de fabricaciones diarias. Se obtuvo que:

$$M/\text{dia} = 817,75\text{ kg/dia}$$

$$M/\text{hora} = 81,775\text{ kg/h}$$

Debido a que parte de este condensado se convierte en vapor *flash*, se determinó el porcentaje que se transforma en vapor.

Para esto debe conocerse la presión de las salidas de condensado de cada equipo y la que se desea en la línea de retorno.

Se tomó como criterio de diseño, con ayuda de las tablas II y III, utilizar una tubería con diámetro nominal de 50 mm para una presión de 0.5 bar. (Entalpía del condensado 340.47 kJ/kg y entalpía de vaporización 2305.4 kJ/kg)

El porcentaje de vapor *flash* a obtener está dado por:

$$\%VF = \frac{h_a - h_b}{h_{fg}} \times 100$$

Donde:

%VF = porcentaje de vapor flash

h_a = entalpía del condensado a la presión de salida del equipo

h_b = entalpía del condensado a la presión en línea de retorno

h_{fg} = entalpía de vaporización a la presión en la línea de retorno

Al sustituir para la marmita D:

$$\%VF = \frac{(568,78 \text{ kJ/kg} - 340,47 \text{ kJ/kg}) \times 100}{2305,4 \text{ kJ/kg}}$$
$$\%VF = 4,51$$

Se calculó la cantidad de vapor *flash* que pasará por esta tubería (caudal x %vapor)

$$= (0,0451)(96,3094) = 4,34711 \text{ kg}$$

De igual forma que con el condensado, se calcula el total de vapor *flash* como la sumatoria para cada marmita individual por la cantidad de fabricaciones en el día, para lo cual se obtuvo:

$$VF = 47,6059 \text{ kg/ dia}$$

$$VF = 4,76059 \text{ kg/h}$$

Por último se calculará la eficiencia al utilizar la línea de retorno, así como el ahorro en agua y combustible en la alimentación de la caldera.

Para esto se conoce que la eficiencia está dada por:

$$\eta = \frac{M_a(h_v-h_a)}{M_c PC}$$

Donde:

η = eficiencia térmica de la caldera

M_a = gasto másico de agua de alimentación

h_a = entalpía para el agua a las condiciones de entrada

h_v = entalpía para el vapor a las condiciones de operación de la caldera

M_c = gasto másico de combustible

PC = poder calorífico del combustible

M_a está dada por la cantidad de agua de alimentación más la cantidad de agua de retorno, para las cuales h_a es distinta. M_c disminuirá en función de la recuperación de condensado y la misma eficiencia del sistema de la siguiente forma:

$$M_c = M_{c0} - M(h_c-h_a) / \eta PC$$

Donde:

M_c = nuevo flujo de combustible

M_{c0} = flujo de combustible en el sistema actual

M = flujo de condensado recuperado

h_c = entalpía del agua a la temperatura de salida del condensado

h_a = entalpía del agua a la actual temperatura de alimentación

η = eficiencia de la caldera

PC = poder calorífico del combustible

Debido a la dependencia de las ecuaciones, se obtiene por sustitución y despeje de M_c en la ecuación para la eficiencia:

$$\eta = \frac{M_a(h_v-h_a)+ M(h_v-h_{c2}+h_{c1}-h_a)}{M_{c0} PC}$$
$$= \frac{(M_a+M)(h_v-h_a) + M(h_{c1}-h_{c2})}{M_{c0}PC}$$

Donde:

η = eficiencia del sistema

M_a = flujo de agua de alimentación (agua de recuperación)

M = flujo de condensado recuperado

M_{c0} = flujo de combustible en el sistema actual

h_a = entalpía del agua a la temperatura actual de operación

h_v = entalpía del vapor a la presión de operación de la caldera

h_{c1} = entalpía del agua a la temperatura de salida del condensado

h_{c2} = entalpía del agua a la temperatura en la línea de retorno de condensado

PC = poder calorífico del combustible

Sustituyendo con la información obtenida:

$$\eta = \frac{(11,17+77,01)\text{kg/h}(2\ 778,2-122,51)\text{kJ/kg}+(77,01\text{kg/h})(468,33- 340,47)\text{kJ/kg}}{(7,2687\ \text{kg/h})(43\ 200\ \text{kJ/kg})}$$

$$\eta = 0,77722 \times 100$$

$$\eta = 77,722 \%$$

3.7.3. Análisis financiero

Para determinar si la propuesta presentada es viable para la empresa se realizó un análisis de beneficio costo, para el cual fue necesario determinar beneficios a obtener en forma de ahorro de combustible y de agua (cantidad y tratamiento de la misma), así como el costo de introducir la propuesta.

Estos datos fueron calculados como se da a conocer a continuación:

3.7.3.1. Ahorro en combustible

$$\text{Ahorro en combustible} = \frac{(\text{Recuperación de condensado}) (h_c - h_a) V_C}{\eta \text{ PC}}$$

Donde:

h_c = entalpía del agua a la temperatura de salida del condensado

h_a = entalpía del agua a la actual temperatura de alimentación

η = eficiencia de la caldera con el sistema propuesto

PC = poder calorífico del combustible

V_C = valor del combustible

El costo del diesel se encuentra actualmente alrededor de Q. 30,00/ galón (Q. 9,3297 / kg). De tal forma que al sustituir datos se obtiene:

$$\text{Ahorro en combustible} = \frac{(77,014 \text{ kg/h})(468,331 - 112,51) \text{ kJ/kg} \times \text{Q.} 9,3297/\text{kg}}{(0,7772)(43\ 200 \text{ kJ/kg})}$$

Ahorro en combustible = 7,41 Q/h

3.7.3.2. Ahorro en tratamiento de agua de alimentación

Ahorro en tratamiento de agua = $M V_{TA}$

Donde:

M = cantidad de condensado recuperado

V_{TA} = costo del tratamiento de agua

El costo del tratamiento de agua es de Q. 1 800,00 al mes (Q.8,18/h) en este momento en el que se consume 88.19 kg/h. Esto significa que son aproximadamente Q. 0,093/kg.

Al sustituir datos:

Ahorro en tratamiento de agua = $(77,014 \text{ kg/h})(Q.0,093/\text{kg})$

Ahorro en tratamiento de agua = 7,14 Q/h

Ahorro total al introducir el sistema la línea de retorno = 14,55 Q/h
= 145,50 Q/día
= 3201,13 Q/mes

3.7.3.3. Gastos

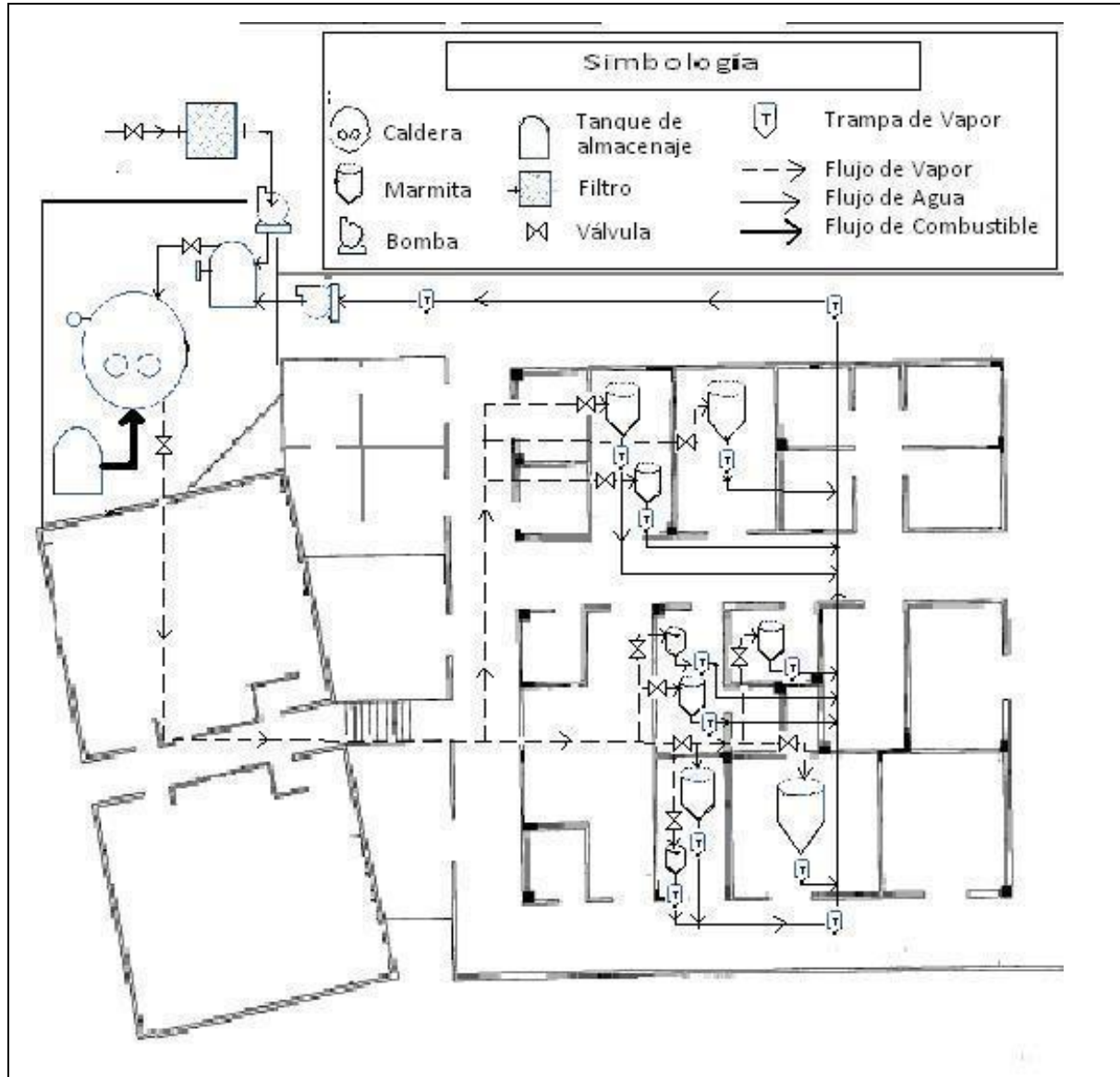
Los gastos a incurrir en la introducción de la línea de retorno de condensado están representados por gastos en materiales y de instalación.

La figura 6 muestra un diagrama de la planta de producción, en el cual se representa el diagrama de flujo de la línea de retorno de condensado.

- Gastos de los materiales: el recorrido de la línea es de aproximadamente 62 m de longitud. Se utilizarán 25 codos de 90° y 15 conectores rectos. También se colocarán tres trampas de vapor en diferentes puntos, así como una bomba para el manejo del condensado hacia el tanque de alimentación. Ver tabla IV.
- Gastos de instalación: este dato se obtuvo por medio de cotizaciones y comprende básicamente la mano de obra. Ver tabla IV.

El total de gastos asciende a Q.30 785,15

Figura 6. Diagrama de flujo de línea de retorno de condensado



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Gastos por introducción de la línea de retorno**

Descripción	Costo (Q.)	Subtotal	Total
Materiales			
66 m de tubería (11 tubos cédula 40 y 55 mm de diámetro con longitud de 6 m)	4 792,15		
Aislamiento de tubería (Recubrimiento de fibra de vidrio y aluminio para 62 m de tubería)	16 120,00		
25 codos 90°	1 125,00		
Aislamiento de codos de tubería	2 500,00		
15 conectores rectos	148,00		
3 trampas de vapor	600,00		
1 bomba neumática	2 000,00		
Total gastos de materiales			
		27 285,15	
Instalación			
Mano de obra	3 500,00		
Total gastos de Instalación			
		3 500,00	
Total de gastos			
			30 785,15

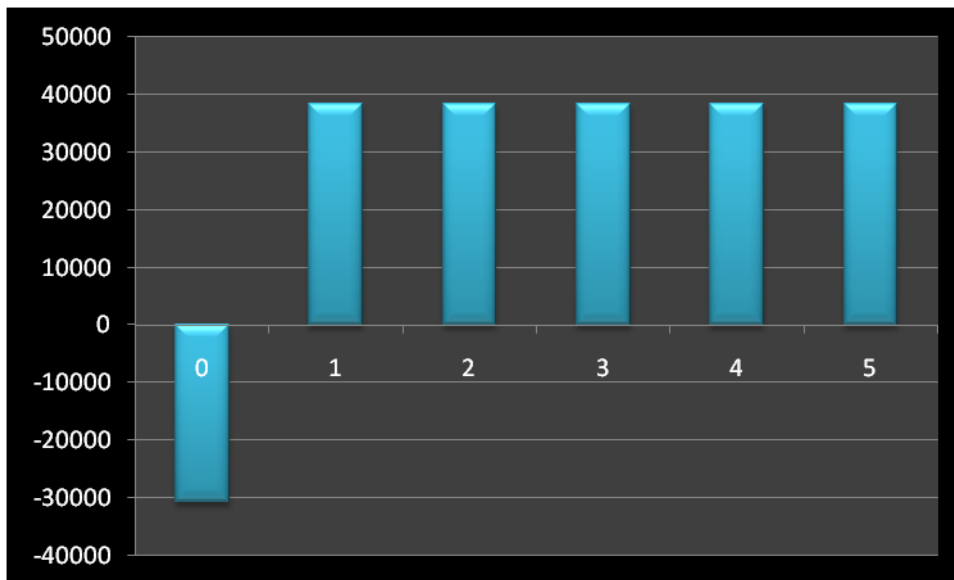
Fuente: elaboración propia.

3.7.3.4. Relación beneficio costo

Como primera acción para realizar este análisis, se procedió a representar los datos en una línea de tiempos, tal como se observa en la figura 7.

El tiempo de vida del proyecto fue determinado con base en los tiempos promedio de vida útil de los diferentes componentes de la línea de retorno de condensado, utilizando para ello las tablas IV y V. En ellas se muestra que la parte de la línea de retorno con menor vida útil son las válvulas, por lo que se tomará como 5 años el tiempo de vida útil para la propuesta presentada.

Figura 7. **Línea de tiempos para la propuesta de introducción de línea de retorno de condensado**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Vida útil (en años) de componentes, accesorios y equipos de obras hidráulicas**

Componente	Años
Acueductos	
• Concreto o albañilería	75
• Acero	50
• Madera	25
Bombas	18 - 25
Tanques de agua	
• Concreto	50
• Acero	40
• Madera	20
Canales y diques	75
Conductos forzados	50
Equipo de construcción	5
Filtros	50
Generadores	
• Más de 3,000 kVA	28
• de 1,000 a 3,000 kVA	25
• de 50 a 1,000 kVA	17 - 25
• menos de 50 kVA	14 - 17
Medidores hidráulicos	30
Pozos	40 - 50
Tanques de distribución	75
Tanques tubulares	50
Tuberías de hierro fundido	
• 2 a 4"	50
• 4 a 6"	65
• 8 a 10"	75
• más de 12"	100
Tuberías de concreto	20
Tuberías de acero	
• Menos de 4"	30
• Más de 4"	40
Tuberías de fibro-cemento 6"	50
Túneles	100
Turbinas hidráulicas	35

Fuente: Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Vida_útil, 10-09- 2011.

Tabla VI. Características de válvulas

Características Tipo de válvula	Presión del proceso	Tipo de descarga	Fuga de vapor vivo en operación	Eliminación de aire y gases NC	Tiempo de vida*	Trabajo con suciedad	Resistencia a golpes de ariete	Trabajo con cambios en flujo de condensado
Balde Invertido	Constante (Flujo real) / casi constante	Intermitente	NO	Baja	Alto 6 a 8 años	Aceptable	Excelente	Malo
Flotador y Termostática	Modulante	Continua	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Excelente
Termo dinámica	Constante / modulante	Intermitente	Probable	Buena	Muy Bajo 6 a 12 meses	Malo	Bueno	Malo
Bimetálica	Constante / modulante	Intermitente	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Malo
Termostática	Constante / modulante	Intermitente	NO	Excelente	Medio 3 a 5 años	Malo	Malo	Malo

*El tiempo de vida de una trampa se determina por el dimensionamiento, selección y, principalmente, por la instalación de la misma.

Fuente: CONAE. Tipos de trampas de vapor I. p. 11.

Para conocer la relación beneficio costo existente para la propuesta de introducción de una línea de retorno en el sistema de producción de vapor, es necesario, transformar todos los valores para los años futuros a presente, para ello se utilizó la fórmula siguiente:

$$P = A(((1+i)^n - 1)/i(1+i)^n)$$

Donde:

P = valor presente

A = anualidad

i = interés anual

n = tiempo en años

Para determinar el interés se utilizó la tasa de interés para operaciones activas, la cual de acuerdo con el Banco de Guatemala, ha sido en promedio en el último año de 13,37% anual.

Sustituyendo en la fórmula anterior, para transformar la anualidad dada por el ahorro durante la vida útil de cinco años se obtiene:

$$P = 38413,56(((1+0,1337)^5-1)/0,1337(1+0,1337)^5)$$

$$P = 133898,50$$

Al tener los datos de beneficio, como el ahorro en combustible y tratamiento de agua anual, y el costo como la inversión necesaria para la introducción de la línea de retorno de condensado, se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{133,898.50}{30,785.15} = 4,35$$

Con este valor puede determinarse la rentabilidad del proyecto de introducción de la línea de retorno en este sistema. (Ver sección de resultados y discusión de resultados)

3.7.3.5. Tiempo de retorno de inversión

Se procedió a calcular el tiempo de retorno de inversión, a fin de determinar en cuántos años será recuperado el dinero utilizado al introducir la propuesta. Para ello se realizó un despeje de la fórmula de valor presente dada una anualidad y un interés así:

$$(1+i)^n = A/(A-Pi)$$

Sustituyendo datos:

$$(1+0,1337)^n = 133\,898,50 / (133\,898,50 - (30\,785,15 \times 0,1337))$$

$$1,1337^n = 1,12000772$$

$$n = 0,9031686 \text{ años}$$

$$= 10,83802 \text{ meses}$$

De acuerdo a este resultado se concluye que se puede recuperar la inversión en once meses.

3.8. Análisis estadístico

Los datos de interés en este estudio son el consumo de agua y de combustible por hora en la caldera. Para esto se realizó 1 toma por 14 días obteniendo 14 datos para el combustible y 3 tomas en 5 días obteniendo 14 datos para el agua de alimentación (el primer día solamente fue posible tomar dos datos). Esta cantidad de datos se decidió, debido a la disponibilidad que se tenía respecto al tiempo del personal de mantenimiento de la planta de fabricación,

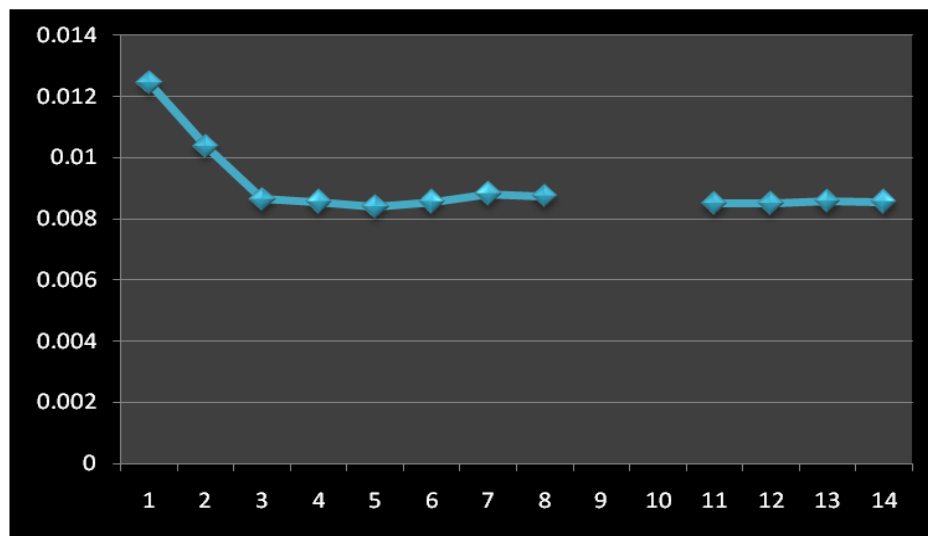
De acuerdo con estos datos se realizó la tabla VII, con el objetivo de determinar si los datos tomados son suficientes para obtener una buena representatividad de los mismos. Se estableció que el mejor método era la media acumulada. De ahí se obtienen las tablas VI y VII, así como las figuras 8 y 9.

Tabla VII. Toma de datos del consumo de diesel

Toma	Horas de uso	Volumen	V/h	Media
1		1.86576508		
2	15	1.67918858	0.012438434	0.01243843
3	15	1.55480424	0.008292289	0.01036536
4	24	1.4304199	0.005182681	0.0086378
5	15	1.30603556	0.008292289	0.00855142
6	16	1.18165122	0.007774021	0.00839594
7	10	1.08836297	0.009328825	0.00855142
8	15	0.93288254	0.010365362	0.00881056
9	15	0.8084982	0.008292289	0.00874577
	Llenado de tanque			
10		2.02124551		
11	24	1.86576508	0.006478351	0.00849384
12	24	1.77247683	0.00855129	0.00849958
13	10	1.67918858	0.009328825	0.00857497
14	15	1.55480424	0.008292289	0.00855141

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Gráfica de media acumulada para el consumo del diesel



Fuente: elaboración propia.

Puede apreciarse que la media se estabiliza a partir de la toma de dato no. 11, por lo cual 14 tomas son suficientes para garantizar la confiabilidad para este estudio.

En la tabla VIII y figura 9 correspondientes al consumo de agua de alimentación, se puede observar que la estabilidad para la media se obtiene a partir del dato no. 10, por lo que nuevamente se obtiene que con los 14 datos obtenidos se puede determinar que existe confiabilidad para la utilización del dato promedio en los cálculos realizados.

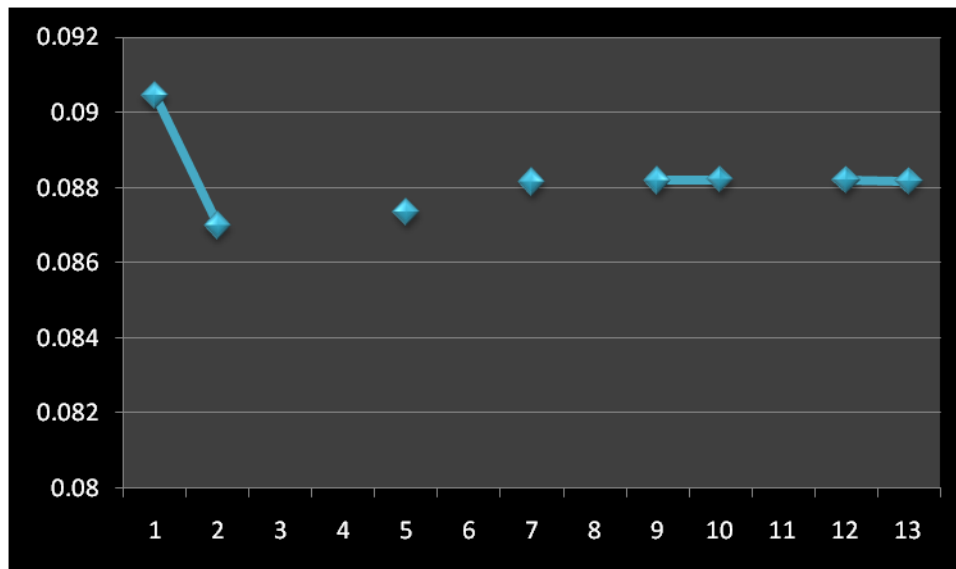
En las tablas VI y VII, se observan casillas en blanco, debido a que corresponden a momentos en que los tanques se llenaron nuevamente, por lo cual el siguiente dato que se tomó en cuenta fue a partir de la siguiente toma.

Tabla VIII. Toma de datos del consumo de agua de alimentación

Toma	Consumo	v/h	Media
1			
2	0.36180973	0.09045243	0.09045243
3	0.32562875	0.08354623	0.08699933
4	Llenado de tanque		
5	0.25326681		
6	0.3979907	0.08807652	0.08735839
7	Llenado de tanque		
8	0.36180973	0.09054678	0.08815549
9	Llenado de tanque		
10	0.36180973	0.08835281	0.08819496
11	0.28944778	0.08830654	0.08821355
12	Llenado de tanque		
13	0.3979907	0.08811564	0.08819956
14	0.32562875	0.08800026	0.08817465

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Gráfica de media acumulada para el consumo de agua de alimentación**



Fuente: elaboración propia.

Para la tabla VI y la VII se obtuvieron análisis estadísticos que se muestran en las tablas VIII y IX respectivamente, por medio del programa *Microsoft Excel*.

En la tabla estadística del consumo de combustible (VIII) se puede ver que se consume en promedio 0,0085514 m³/h, con una tolerancia de 0,000573. Esto representa una tolerancia de 6,7%.

Se observa también, que se presentan picos en el consumo debido a que hay días en que la efectividad es mayor, y otros en los que el consumo de combustible es más alto, lo cual puede deberse a las diferencias en las necesidades de fabricación entre un día y otro, teniendo una variación hasta de 0,0019 kg/h.

Tabla IX. **Estadísticas del consumo de diesel**

<i>Consumo de Diesel</i>	
Media	0.008551423
Error típico	0.000573085
Mediana	0.008292289
Moda	0.008292289
Desviación estándar	0.001900709
Varianza de la muestra	3.61269E-06
Curtosis	1.2761248
Coefficiente de asimetría	0.319636568
Rango	0.007255753
Mínimo	0.005182681
Máximo	0.012438434
Suma	0.094065656
Cuenta	11
Nivel de confianza(95.0%)	0.001276914

Fuente: elaboración propia.

En el consumo de agua se obtiene que en promedio se consumen 0,08819 m³/h con una tolerancia del 0,003310, lo cual representa el 3,7% y una variación de 0,009362 m³/h. Esto también indica que la variación en el consumo de agua por el sistema es menor a la variación en el consumo de combustible.

De igual forma, se trabajó con la toma de datos para determinar el caudal del condensado que circulará por la línea de retorno hacia la alimentación de la caldera, obteniéndose las tablas de los anexos.

Para la cantidad de agua a calentar en las marmitas, la tolerancia y variación entre los datos en algunas ocasiones es de 0, o valores pequeños en comparación a las mediciones, lo cual se debe a que hay fabricaciones que se

encuentran estandarizadas y se realizan siempre del mismo tamaño, si a esto se agrega que ciertos equipos se utilizan únicamente para productos similares con fórmulas parecidas, no resulta raro observar que las medidas tomadas para estos equipos sean las mismas en varias ocasiones.

Tabla X. **Estadísticas de consumo de agua**

<i>Consumo de Agua</i>	
Media	0.08819112
Error típico	0.00331022
Mediana	0.09045243
Moda	0.09045243
Desviación estándar	0.00936272
Varianza de la muestra	8.766E-05
Curtosis	-0.448
Coficiente de asimetría	-0.38643671
Rango	0.02713573
Mínimo	0.07236195
Máximo	0.09949767
Suma	0.70552896
Cuenta	8
Nivel de confianza(95.0%)	0.00782743

Fuente: elaboración propia.

La variación en la temperatura de agua en la entrada de los equipos tampoco varía mucho entre los diferentes equipos y las distintas fabricaciones, puesto que la misma entra directamente a la temperatura ambiente. Esta información podría variar con los cambios de estación únicamente. Debido a que la toma de datos se hizo en días consecutivos, no se observa variación significativa.

Para la temperatura final en el agua de la marmita, la cual es controlada por el operador, sí se observan mayores variaciones en algunos equipos. Esto depende directamente del tipo de producto que se fabrique, pues algunos productos exigen calentar a mayores temperaturas que otros. En los equipos en los que se fabrica el mismo producto o similares, la variación será menor, e incluso 0.

La presión de operación en las marmitas presenta variación en algunos equipos. La presión de operación es controlada directamente por el operador. Si por algún motivo la presión es menor o mayor a la deseada, el encargado puede, manualmente, regular la misma en el equipo, abriendo o cerrando la llave de entrada de vapor. Por este motivo las variaciones en la presión de operación no son tan altas, pues se mantiene una presión considerada adecuada según experiencia o instrucción de los fabricantes de los equipos.

4. RESULTADOS

Por medio de este estudio se lograron obtener los resultados siguientes.
Ver tablas XI a XV.

Tabla XI. **Recuperación de condensado**

Recuperación de Condensado			
Marmita	Salida (kg/d)	Vapor Flash (%)	Recuperado (kg/d)
A	122,49	0,01311553	120,89
B	249,63	0,09322579	226,36
C	118,59	0,06906337	110,40
D	192,62	0,04513699	183,92
E	26,77	0,05976677	25,17
F	52,92	0,04367267	50,61
G	44,22	0,03596203	42,63
H	5,27	0,03757119	5,07
I	5,23	0,02741196	5,09
Total	817,75		770,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Eficiencia del sistema**

Eficiencia

Actual	Propuesta	Aumento
74,59 %	77,72 %	3,13 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Ahorro de combustible**

Ahorro en Combustible

Cantidad (kg/m)	Q
174,84	1 630,33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Ahorro en tratamiento de agua de alimentación**

Ahorro en tratamiento de agua
--

Cantidad (kg/m)	Q
17 412,10	1 570,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Análisis financiero**

Análisis Financiero	
Relación Beneficio Costo (B:C)	Tiempo de Retorno de Inversión (TRI)
4,35:1	1 1 meses

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a la información obtenida, como resultados al finalizar este estudio, puede observarse, primero que al introducir una línea de retorno de condensado en la planta de fabricación de productos cosméticos en cuestión, se puede aumentar la eficiencia térmica del sistema en un 3%. Según se observa en la tabla X, la eficiencia actual para el sistema de producción de vapor es de casi 75% y la propuesta de 78%.

Esto indica, al recordar que la eficiencia está dada como lo obtenido por parte del sistema dividido, lo utilizado o invertido, es que se requiere menos combustible para obtener la misma cantidad de vapor que se tiene actualmente, o bien que se puede alcanzar mayor cantidad de vapor con la misma cantidad de combustible. Para esta planta en particular, si la necesidad de fabricación sigue siendo la misma, se espera utilizar la misma cantidad de vapor, y por lo tanto, se prevé una disminución en la cantidad de combustible utilizada por el sistema.

La tabla XI muestra la cantidad de condensado que se puede recuperar en cada una de las marmitas en el área de fabricación, así como el porcentaje del mismo que se perderá como consecuencia de la evaporación por expansión (*flasheo*). Por esto mismo, se observa en la última columna que, considerando la cantidad de condensado perdido, se tiene un total de 770,14 kg/ d de condensado recuperado.

Este valor es de mucha importancia pues representa una cantidad de agua de alimentación que irá a entrar en la caldera sin necesidad de recibir un

tratamiento previo, debido a que ésta se encuentra libre de impurezas, por tratarse prácticamente de agua destilada, lo cual reducirá el costo de tratamiento de agua.

Lo referente a la disminución de costos, tanto para el combustible como para el tratamiento de agua de alimentación al sistema, puede observarse en las tablas XII y XIII respectivamente. En ellas se observa que con la introducción de la línea de retorno de condensado en el sistema de producción de vapor de la planta de productos cosméticos, al tener un aumento de eficiencia y una recuperación de agua que normalmente iría a parar al desagüe, se puede ahorrar Q. 1 630,33 en combustible y Q. 1 570,80 en tratamiento de agua, lo cual da un total de Q. 3 201,13.

Por último, se observa que para la instalación de la línea de retorno de condensado en la planta de producción de cosméticos se requiere de Q.27 285,15 en el uso de materiales y Q.3 500,00 por instalación, con lo cual se realizó el análisis financiero a fin de determinar que es posible recuperar la inversión inicial que representa el proyecto en 11 meses, utilizando una tasa de interés activa.

Esto quiere decir que, a partir del mes 12 después de la introducción de la línea de retorno de condensado, se empezará a percibir el ahorro, tanto en combustible como en costos de tratamiento de agua de alimentación como Q.38 413,56 / año.

También, se observa en la tabla XIV que la relación beneficio costo es de 4.35:1, lo que significa que el beneficio económico a obtener con la introducción de la línea de retorno de condensado es cuatro veces mayor a la inversión necesaria para poner la propuesta en marcha.

CONCLUSIONES

1. Con la introducción de una línea de retorno de condensado en la planta de fabricación de productos cosméticos puede aumentar la eficiencia térmica del sistema de vapor en un 3,13%
2. El sistema de producción de vapor en la planta cosmética tiene una eficiencia térmica de 74,59%, al incluir la línea de retorno de condensado se obtiene una eficiencia teorica de 77,72%.
3. La introducción de una línea de retorno de condensado en la planta de producción de cosméticos, permite recuperar la energía térmica perdida diariamente, al tirar los condensados hacia el desagüe.
4. Al implementar la línea de retorno de condensado, se espera obtener un ahorro de Q.3 201,13 / mes, entre el costo de combustible y el de tratamiento de agua.
5. Para implementar la introducción de una línea de retorno de condensado en la planta de producción de productos cosméticos, se necesita invertir Q. 30 785,15.
6. La inversión inicial puede ser recuperada en 11 meses, en función del ahorro en costos de combustible y tratamiento de agua.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que con la introducción de la línea de retorno de condensado el agua potable que ingresa al sistema será menor, por lo que la válvula de ingreso al tanque de alimentación no debe permanecer totalmente abierta, como se maneja actualmente.
2. Tener especial cuidado en controlar el flujo de condensado hacia el tanque de alimentación de agua, debido a que los equipos no trabajan en forma continua sino por lote, con el objetivo de no permitir que el tanque de alimentación de agua baje del nivel recomendado a fin de evitar problemas en la caldera, por lo que debe considerarse instalar un sistema de control de nivel.
3. Considerar que se observarán variaciones con respecto al consumo de diesel y recuperación de condensados en función de la producción, por lo que deberá llevarse un control de consumos de agua y diesel, así como de condensado recuperado a fin de tomar medidas al aumentar o disminuir la misma.
4. Considerando que el posible crecimiento de la empresa tenga como resultado la introducción de uno o más equipos de fabricación, se deberá introducir cada uno de ellos al sistema de línea de retorno de condensado.

BIBLIOGRAFÍA

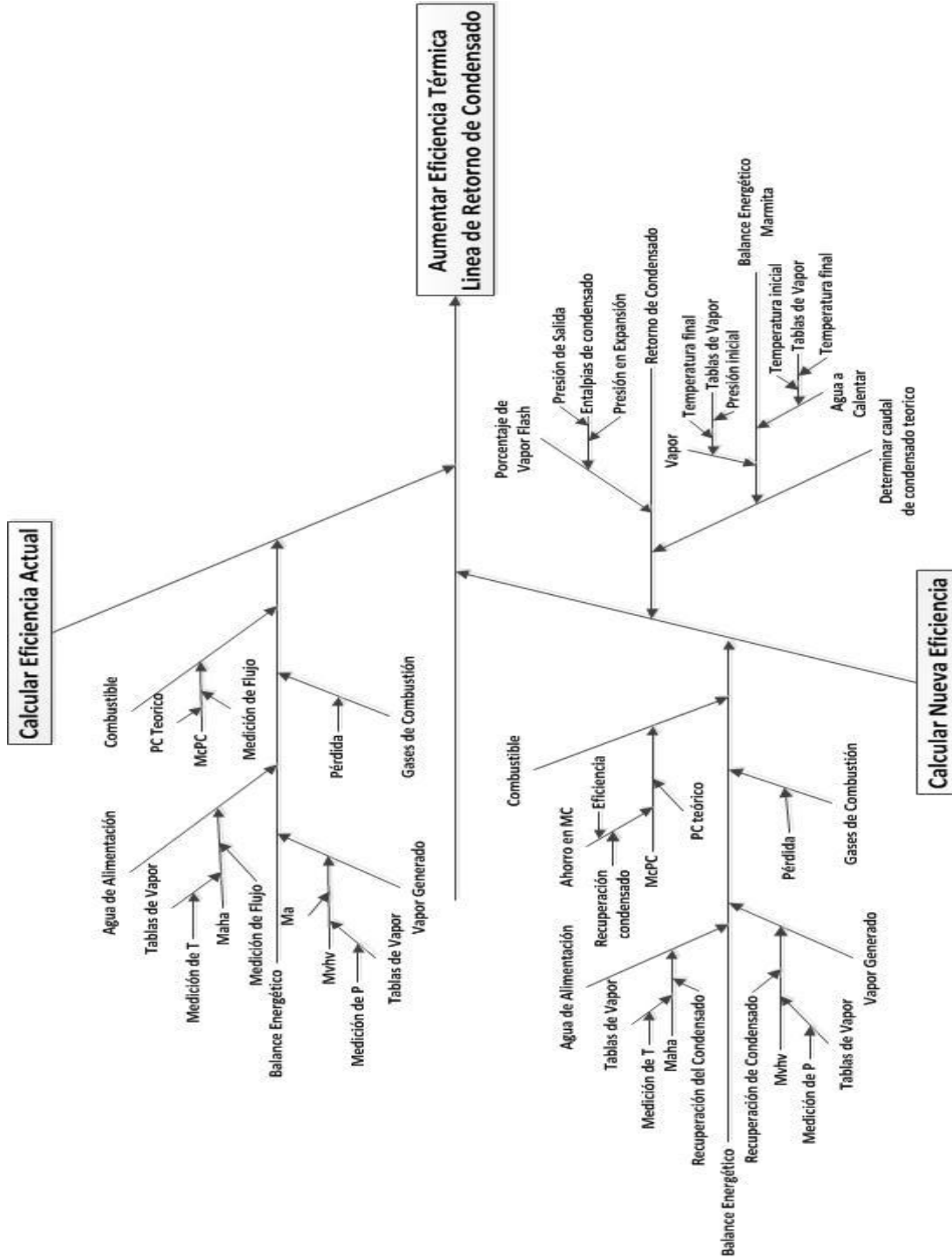
1. BARRIGA, Alfredo. *Auditoria energética en un sistema de vapor. Cortesía dirección de energía alternativa y eficiencia energéticos*. [en línea]. Ministerio de Energía. [ref.de 7 de enero de 2011]. Disponible en Web:
www.cdts.espol.edu.ec/documentos/Auditoria%20Energetica.pdf.
2. CONAE. *Tipos de trampas de vapor I*. [en línea]. Secretaría de Energía México. Dirección de enlace y programas regionales. Apoyo al sector privado. Noviembre 2007. Disponible en Web:
www.cnpml.org.sv/ucatee/ee/docs/trampas_de_vapor_1_1.pdf.
[Consulta: 11 de septiembre de 2011].
3. FERNÁNDEZ, Jorge Félix. *Cátedra Maquinas Térmicas Capítulo 1 Poder calorífico*. [en línea]. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza. [ref.de 25 de enero 2011]. Disponible en Web:
www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf.
4. McCABE, Warren. *Operaciones básicas de ingeniería química*. México: McGraw-Hill, 1985. 1112 p.
5. Metrogás. *Retorno de condensado*. [en línea]. [ref.de 25 de enero de 2011]. Disponible en Web:
www.metrogas.cl/industria/userfiles/file/EF%20ENERG%20CONDENSADOSTRA.pdf.

6. PEREZ MACAL, Fidel. *Análisis térmico de la caldera piro tubular marca Power Master modelo 54*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 88 p.
7. SANTIZO, M. *Uso eficiente de la energía térmica y eléctrica*. [en línea] (2006) 5 p. Disponible en Web: www.proenergia.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/cuadrosvaporflasheado.pdf. [Consulta 24 de enero de 2011].
8. SEDITESA. *Hoja técnica no. 9 Retorno del condensado*. [en línea]. [ref.de 27 de enero de 2011]. Disponible en Web: www.seditesa.es/download/pdf/Ht9.pdf.
9. SIQUINÁ SÁNCHEZ, Rufino Gregorio. *Análisis termodinámico para el mejoramiento de la eficiencia de operación de la caldera del ingenio Tzulá*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 118 p.
10. WIKIPEDIA. *Vida útil*. [en línea]. [ref.de 10 de septiembre de 2011]. Disponible en Web: http://es.wikipedia.org/wiki/Vida_útil.

APÉNDICES

- Apéndice A. Tabla de requisitos académicos
- Apéndice B. Diagrama de Ishikawa
- Apéndice C. Toma de datos en caldera
- Apéndice D. Toma de datos en marmitas
- Apéndice E. Situación actual
- Apéndice F. Introducción de línea de retorno
- Apéndice G. Estadística para el agua en las marmitas
- Apéndice H. Estadística para la temperatura de entrada del agua en las marmitas
- Apéndice I. Estadística para la temperatura de salida del agua en las marmitas
- Apéndice J. Estadística para la presión de operación en las marmitas

B. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

C. Toma de datos en caldera

Toma de datos en caldera

Fecha: 2/05/2011 al 20/05/2011

Horas uso	Presión kgf/m ³	Nivel Combustible
0	100	30
15	100	27
15	99	25
24	100	23
15	100	21
16	95	19
10	98	17.5
15	100	15
15	100	13
0	95	32.5
24	100	30
24	100	28.5
10	100	27
15	100	25

Hora	Temperatura del Agua	Nivel del Agua
08:00	27	1
12:00	27	0.5
16:00	27	0.1
08:00	25	1
12:00	27	0.6
16:00	27	0.1
08:00	26	0.9
12:00	27	0.4
16:00	26	0.8
08:00	26	1
12:00	27	0.5
16:00	27	0.1
08:00	26	1
12:00	26	0.6
16:00	27	0.1

Fuente: elaboración propia.

D. Toma de datos en marmitas

Toma de datos en marmitas

Fecha: - 2/05/2011 al 20/05/2011 -

Marmita	Agua a Calentar			Vapor
	Cant (kg)	T° o (°C)	T° f (°C)	P° (psi)
A (1700 kg)	1000	25	90	12
A	1000	24	90	11.9
A	1000	25	90	12.7
B (3000 kg)	2500	25	75	75
B	2700	25	80	75
B	2300	25	75	75
C (1400 kg)	900	26	85	50
C	1300	25	75	45
C	1100	25	80	55
D (1200 kg)	1100	25	75	30
D	850	24	75	35
D	1050	25	75	28
E (400 kg)	250	25	80	45
E	250	25	80	38
E	250	25	80	43
F (360 kg)	200	25	75	30

Continuación apéndice D.

Toma de datos en Marmitas

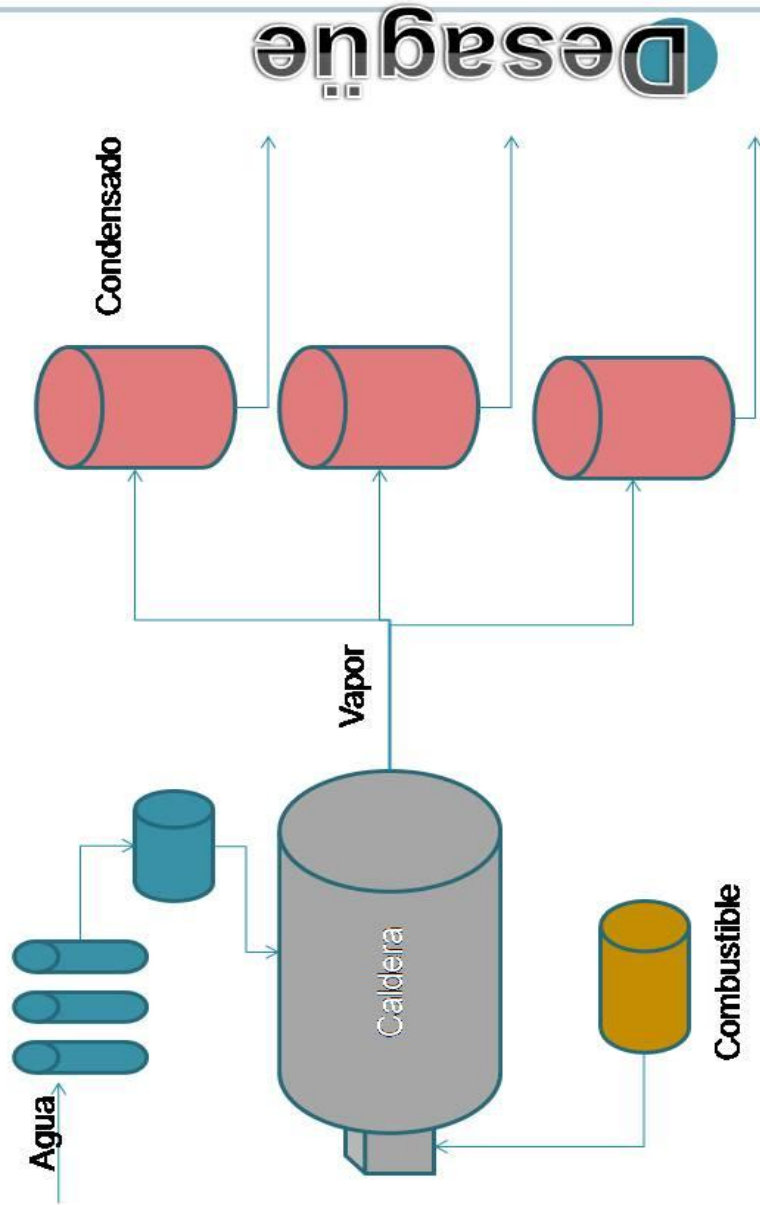
Fecha: _____ 2/05/2011 al 20/05/2011 _____

Marmita	Agua a Calentar			Vapor
	Cantidad	Tº inicial	Tº final	Pº operación
F	300	24	80	30
F	250	25	80	30
G (250 kg)	200	25	80	25
G	205	25	80	25
G	215	24	80	25
H (100 kg)	50	25	85	25
H	48	25	80	30
H	50	26	80	23
I (100 kg)	45	25	80	25
I	50	25	80	15
I	55	24	80	20

Fuente: elaboración propia.

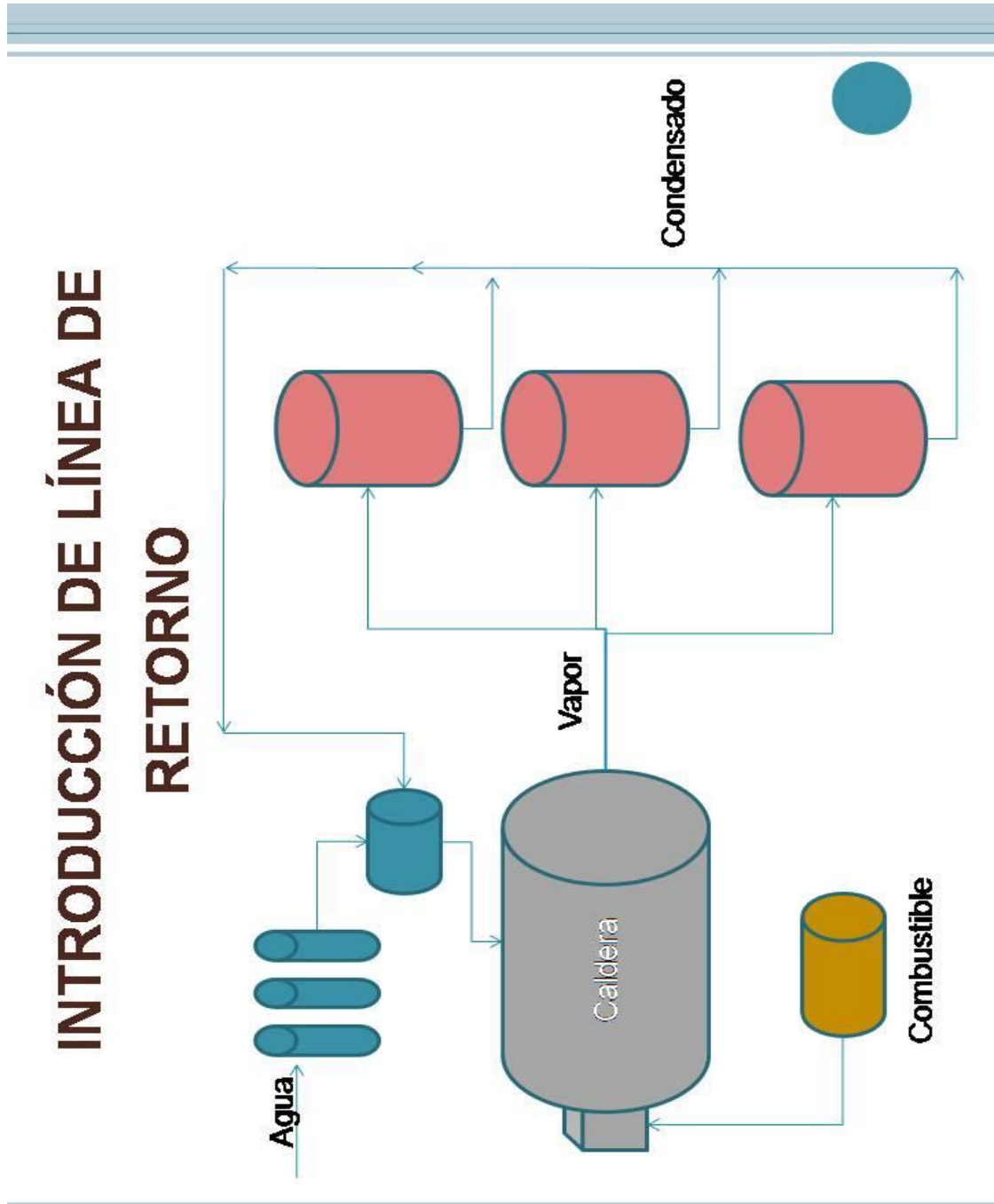
E. Situación actual

SITUACIÓN ACTUAL



Fuente: elaboración propia.

F. Introducción de línea de retorno



Fuente: elaboración propia.

G. Estadística para el agua en las marmitas

Métrica	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media	1000	2500	1100	1000	250	250	206.666667	49.333333	50
Error típico	0	115.470064	115.470064	76.3762616	0	28.8675135	4.40993952	0.66666667	2.88675135
Mediana	1000	2500	1100	1050	250	250	205	50	50
Moda	1000	#N/A	#N/A	#N/A	250	#N/A	#N/A	50	#N/A
Desviación estándar	0	200	200	132.287966	0	50	7.63762616	1.15470064	5
Varianza de la muestra	0	40000	40000	17500	0	2500	58.3333333	1.33333333	25
Curstosis	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!	#100%/0!
Coefficiente de asimetría	#100%/0!	0	0	-1.4578627	#100%/0!	0	0.9352193	-1.73205081	0
Rango	0	400	400	250	0	100	15	2	10
Mínimo	1000	2300	900	850	250	200	200	48	45
Máximo	1000	2700	1300	1100	250	300	215	50	55
Suma	3000	7500	3300	3000	750	750	620	148	150
Cuenta	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nivel de confianza(95.0%)	0	496.827542	496.827542	328.62053	0	124.2106886	18.5729152	2.86849315	12.42106886

Fuente: elaboración propia.

H. Estadística para la temperatura de entrada del agua en las marmitas

Marmita	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media	24.6666667	25	25.3333333	24.6666667	25	24.6666667	24.6666667	25.3333333	24.6666667
Error típico	0.3333333	0	0.3333333	0.3333333	0	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.3333333
Mediana	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Moda	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Desviación estándar	0.5773502	0	0.5773502	0.5773502	0	0.5773502	0.5773502	0.5773502	0.5773502
Varianza de la muestra	0.3333333	0	0.3333333	0.3333333	0	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.3333333
Coeficiente de asimetría	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Coeficiente de simetría	-1.7320508	0.0000000	1.7320508	-1.7320508	0.0000000	-1.7320508	-1.7320508	1.7320508	-1.7320508
Rango	1	0	1	1	0	1	1	1	1
Mínimo	24	25	25	24	25	24	24	25	24
Máximo	25	25	26	25	25	25	25	26	25
Suma	74	75	76	74	75	74	74	76	74
Cuenta	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nivel de confianza(95.0%)	1.43421758	0	1.43421758	1.43421758	0	1.43421758	1.43421758	1.43421758	1.43421758

Fuente: elaboración propia.

I. Estadística para la temperatura de salida del agua en las marmitas

Marmita	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media	90	76.6666667	80	75	80	78.3333333	80	81.6666667	80
Error típico	0	1.66666667	2.88675135	0	0	1.66666667	0	1.66666667	0
Mediana	90	75	80	75	80	80	80	80	80
Moda	90	75	#N/A	75	80	80	80	80	80
Desviación estándar	0	2.88675135	5	0	0	2.88675135	0	2.88675135	0
Varianza de la muestra	0	8.33333333	25	0	0	8.33333333	0	8.33333333	0
Curtosis	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!
Coefficiente de asimetría	#!DUNY/D!	1.73205081	0	#!DUNY/D!	#!DUNY/D!	-1.73205081	#!DUNY/D!	1.73205081	#!DUNY/D!
Rango	0	5	10	0	0	5	0	5	0
Mínimo	90	75	75	75	80	75	80	80	80
Máximo	90	80	85	75	80	80	80	85	80
Suma	270	230	240	225	240	235	240	245	240
Cuenta	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nivel de confianza(95.0%)	0	7.17108788	12.4206286	0	0	7.17108788	0	7.17108788	0

Fuente: elaboración propia.

J. Estadística para la presión de operación en las marmitas

Marmita	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media	12.2	75	50	31	42	30	25	26	20
Error típico	0.25166115	0	2.08675135	2.081666	2.081666	0	0	2.081666	2.08675135
Mediana	12	75	50	30	43	30	25	25	20
Moda	#N/A	75	#N/A	#N/A	#N/A	30	25	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.43588989	0	5	3.60555128	3.60555128	0	0	3.60555128	5
Varianza de la muestra	0.19	0	25	13	13	0	0	13	25
Curstosis	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Coefficiente de asimetría	1.63006316	#DIV/0!	0	1.15206364	-1.15206364	#DIV/0!	#DIV/0!	1.15206364	0
Rango	0.8	0	10	7	7	0	0	7	10
Mínimo	11.9	75	45	28	38	30	25	23	15
Máximo	12.7	75	55	35	45	30	25	30	25
Suma	36.6	225	150	93	126	90	75	78	60
Cuenta	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Nivel de confianza(95.0%)	1.08281082	0	12.4206286	8.95689389	8.95689389	0	0	8.95689389	12.4206286

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

- Anexo A. Volumen en tanque de combustible
- Anexo B. Volumen en tanque de agua

A. Volumen en tanque de combustible

Volumen en Tanque de Combustible		
Nivel (in)	Nivel (m)	Volumen (m3)
0	0	0
1	0.0254	0.062192169
2	0.0508	0.124384339
3	0.0762	0.186576508
4	0.1016	0.248768678
5	0.127	0.310960847
6	0.1524	0.373153017
7	0.1778	0.435345186
8	0.2032	0.497537356
9	0.2286	0.559729525
10	0.254	0.621921695
11	0.2794	0.684113864
12	0.3048	0.746306034
13	0.3302	0.808498203
14	0.3556	0.870690373
15	0.381	0.932882542
16	0.4064	0.995074712
17	0.4318	1.057266881
18	0.4572	1.119459051
19	0.4826	1.18165122
20	0.508	1.24384339
21	0.5334	1.306035559
22	0.5588	1.368227729
23	0.5842	1.430419898
24	0.6096	1.492612068
25	0.635	1.554804237
26	0.6604	1.616996407
27	0.6858	1.679188576
28	0.7112	1.741380746
29	0.7366	1.803572915
30	0.762	1.865765085
31	0.7874	1.927957254
32	0.8128	1.990149424
33	0.8382	2.052341593
34	0.8636	2.114533763
35	0.889	2.176725932
36	0.9144	2.238918102
37	0.9398	2.301110271
38	0.9652	2.363302441
39	0.9906	2.42549461
40	1.016	2.48768678
41	1.0414	2.549878949
42	1.0668	2.612071119
43	1.0922	2.674263288
44	1.1176	2.736455458
45	1.143	2.798647627
46	1.1684	2.860839797

Fuente: ECHEVERRIA, Antonio. *Departamento de Mantenimiento*. Planta Lancasco Atlántico. p.1.

B. Volumen en tanque de agua

Volumen en Tanque de Agua

Nivel	Volumen (m ³)
0	0
0.1	0.072361945
0.2	0.144723889
0.3	0.217085834
0.4	0.289447779
0.5	0.361809724
0.6	0.434171668
0.7	0.506533613
0.8	0.578895558
0.9	0.651257502
1	0.723619447

Fuente: ECHEVERRÍA, Antonio. *Departamento de Mantenimiento*. Planta Lancasco Atlántico. p. 2.